

Der neue Referenzparameter AFS63 in Regelwerken zum Gewässerschutz

Bachelorthesis

Sabine Santhirasegaran, Matrikelnummer: 2717595

B.Sc. Umweltingenieurwissenschaften



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Der neue Referenzparameter AFS63 in Regelwerken zum Gewässerschutz
(The new reference parameter AFS63 in guidelines for water protection)

Bachelorthesis: eingereicht am 10. Oktober 2017
Verfasser: Sabine Santhirasegaran
Matrikelnummer 2717595
Anschrift:
Bleichstraße 4
64283 Darmstadt
mobil: 015785677128
email: sabine.santhi94@web.de
Betreuer: Michael Bach, Dr.-Ing.
Markus Funke, Dipl.-Ing.
Michael Kissel, M. Sc.
Britta Schmalz, Prof. Dr. habil.

Vorwort

Die SYDRO Consult GmbH und das Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) der TU Darmstadt bedanken sich bei der Stadt Bad Homburg für die Kooperation im Rahmen der Bachelorarbeit sowie die Bereitschaft, die notwendigen Daten des Entwässerungssystems der Stadt Bad Homburg zur Verfügung zu stellen.

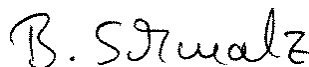
Es ist ausgesprochen erfreulich, dass es Frau Santhirasegaran durch diese Kooperation mit der Stadt Bad Homburg ermöglicht wurde, ihre Untersuchungen nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch an einem konkreten Fallbeispiel durchzuführen.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Henze, der sowohl der ersten Anfrage sehr positiv und aufgeschlossen begegnete als auch während der kompletten Bearbeitungszeit jederzeit für Fragen zur Verfügung stand und benötigte Daten zeitnah zur Verfügung stellte.

Darmstadt, im Dezember 2017



Dipl.-Ing. Markus Funke (SYDRO Consult)



Prof. Dr. habil. Britta Schmalz (TU Darmstadt)

Kurzfassung

Abfiltrierbare Stoffe, die zwischen $0,45\ \mu\text{m}$ und $63\ \mu\text{m}$ groß sind, werden als AFS63 (im Englischen PM63) bezeichnet und sind ein Maß für die Belastung von Niederschlagsabflüssen. Sie führen zu einer Kolmation der Gewässersohle und transportieren durch ihre hohe spezifische Oberfläche große Mengen an Schadstoffen. Derzeit sind noch wenige Studien hinsichtlich ihres Aufkommens und Schadstofftransportes vorhanden. In der vorliegenden Arbeit werden die bisherigen Kenntnisse über Vorkommen und Zusammensetzung sowohl von AFS als auch von AFS63 zusammengetragen. Die Transportwirkung von Schadstoffen durch die AFS63 wird beleuchtet. Der AFS63-Parameter wird als neuer Referenzparameter für die stoffliche Nachweisführung im Regelwerk DWA-A 102/BWK-A 3 eingeführt. Diese Emissions- und Immissionsnachweise gemäß DWA-A 102/BWK-A3 werden am Fallbeispiel Kirdorf, einem Stadtteil Bad Homburgs, durchgeführt. Die vorgenommenen Änderungen des Projekts im Geoinformationssystemprogramm ArcGIS werden aufgezeigt. Ausgehend davon wird für den Emissionsnachweis das Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI 6.1 und für den Immissionsnachweis ein Excel-Sheet benutzt. Die Nachweise werden für beide Betrachtungen erbracht. Hinsichtlich des Ergebnisses mit der bisherigen Nachweisgröße CSB kann für dieses Fallbeispiel Kompatibilität zum neuen Parameter festgestellt werden.

Abstract

Fine solids with grain size between $0,45\ \mu\text{m}$ and $63\ \mu\text{m}$ are referred to as AFS63 (PM63) and are a measure for the degree of the contamination of rainfall runoffs. They lead to a colmation of the waterway beds and transport high quantities of pollutants because of their high specific surface area. Currently there are still very few studies on their appearance and contaminant transport. In this thesis, the present knowledge about the occurrence and composition of both, AFS and AFS63, is summarized. The transport of pollutants by AFS63 is illuminated. The AFS63 are introduced as the new reference parameter for material verification in the new guideline DWA-A 102/BWK-A 3. The purpose of this project was to apply the specified regulations of the DWA-A 102/BWK-A 3 onto a realistic catchment area. The emission and immission verifications in accordance with the new guideline are carried out on the case study Kirdorf which is a district of Bad Homburg. The changes made in the geographic information system programm ArcGIS are shown. Based on these changes, the pollution simulation model SMUSI 6.1 is used for the emission verification, while an Excel sheet is used for immission verification. The verifications for both considerations are provided. Previous verifications used the COD parameter for pollution in waters which are compared to the new AFS63 parameter. Compatibility of COD with AFS63 can be determined for this case.

I. Inhaltsverzeichnis

I. INHALTSVERZEICHNIS	I
II. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
III. TABELLENVERZEICHNIS	IV
IV. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	V
1. EINLEITUNG	1
2. ABFILTRIERBARE STOFFE (AFS)	3
2.1. Definition	3
2.2. Vorkommen und Zusammensetzung	3
2.2.1. Staubbiederschlag	3
2.2.2. Verkehrsflächenabfluss	4
2.2.3. Dachflächenabfluss	6
2.2.4. Sonstige Einträge	6
2.3. AFS63	6
2.3.1. Staubbiederschlag	7
2.3.2. Verkehrsflächenabfluss	7
2.3.3. Dachabfluss	8
2.3.4. Sonstige Einträge	8
3. AFS63 ALS TRÄGERSUBSTANZ FÜR SCHADSTOFFE	9
3.1. Organische Schadstoffe	9
3.2. Anorganische Schadstoffe	11
4. ARBEITSBLATT DWA-A 102/ BWK- A3	16
4.1. DWA-A 102 - Teil A	16
4.1.1. Überblick	16
4.1.2. Eingangsgrößen	17
4.1.3. Stoffliche Nachweisführung mittels AFS63	18
4.2. BWK-A 3 -Teil B	21
4.2.1. Überblick	21
4.2.2. Eingangsgrößen	21
4.2.3. Stoffliche Nachweisführung mittels AFS63	22
5. PRAKTISCHE ANWENDUNG AUF EIN REALES EINZUGSGEBIET	24
5.1. Auswahl eines Projektgebietes	25

5.2. Emissionsnachweis	25
5.2.1. Datengrundlage	25
5.2.2. GIS-Unterstützte Methodik.....	26
5.2.3. Vorgehen mithilfe des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI.....	29
5.3. Immissionsnachweis	40
5.3.1. Datengrundlage und GIS-unterstützte Methodik	40
5.3.2. Vorgehen mithilfe Excel	41
5.4. Ergebnisse	42
5.4.1. Emissionsnachweis	42
5.4.2. Immissionsnachweis	44
5.5. Modellvariantenrechnungen.....	46
5.6. Problematiken.....	48
6. MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER MODELLIERUNG MIT AFS63	51
7. VERGLEICH MIT DER BISHERIGEN NACHWEISGRÖÖE CSB	53
8. DISKUSSION, ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	55
9. LITERATURVERZEICHNIS	58
10. ANHANG	1
A.1 Karte zum Gesamtprojekt Bad Homburg und Teilprojekt Kirdorf.....	1
A.2 BFIK-Datensatz.....	2
A.3 REAL-Datensatz.....	13

II. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PAK AN UNTERSCHIEDLICHEN KORNFRAKTIONEN VON STRAßENSTAUB UND IM STRAßENABFLUSS (DWA 2010, S. 132)	10
ABBILDUNG 2: KONZENTRATION VON BLEI IN VERSCHIEDENEN KORNFRAKTIONEN AN POSITION D (NEBEN DEM BORDSTEIN) UND POSITION C (0,75 M VOM RANDSTEIN ENTFERNT) (DELETIC UND ORR 2005, S. 55)	14
ABBILDUNG 3: AUFKOMMEN VON ABFILTRIERBAREN STOFFEN (AFS) IM NIEDERSCHLAGSABFLUSS VON DACH-, VERKEHRS- UND MISCHFLÄCHEN (DWA 2016, S. 34)	19
ABBILDUNG 4: FLÄCHENKATEGORISIERUNG FÜR PROJEKTGEBIET KIRDORF	28
ABBILDUNG 5: SYSTEMPLAN „KIRDORF“	29
ABBILDUNG 6: AUSZUG AUS *.SMZ-DATEI: ANGEPASSTE MITTELWERTE DER SCHMUTZWASSERABFLUSSKONZENTRATIONEN NACH REUßNER UND MUSCHALLA 2012A, S. 38	31
ABBILDUNG 7: AUSZUG AUS *.ALL-DATEI : STOFFPOTENTIALDEFINITION NACH TYPEN GEMÄß DWA 2016, S. 40	31
ABBILDUNG 8: NATÜRLICHES EINZUGSGEBIET MIT EINLEITSTELLEN (IMMISSIONSBETRACHTUNG)	41
ABBILDUNG 9: SPEZIFISCHE GEWÄSSERFRACHT DES KIRDORFER BACHES - SPEZIFISCHE KRITISCHE UND BERECHNETE SPEZIFISCHE FRACHT.....	45
ABBILDUNG 10: BEISPIEL FÜR EINE UNGENAUE FLÄCHENERMITTLUNG AN EINEM PARKPLATZ	49

III. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: VERTEILUNG DER FESTSTOFFE UND BLEI AUF KORNNKLASSEN IM STRAßENABFLUSS IN PROZENT NACH (HAHN UND XANTHOPOULOS 1993) AUS WELKER (2004, S. 131)	13
TABELLE 2: BEHANDLUNGSBEDÜRFTIGKEIT VON NIEDERSCHLAGSWASSER (DWA 2016, S. 39).....	17
TABELLE 3: ORIENTIERUNGSWERTE ZUM STOFFAUFGKOMMEN VON AFS UND AFS63 IN ABHÄNGIGKEIT DER ABFLUSSART (DWA 2016, S. 35)	20
TABELLE 4: RECHENWERTE DES FLÄCHENSPEZIFISCHEN JÄHRLICHEN STOFFABTRAGS $B_{R,A}$ FÜR AFS63 DER BELASTUNGSKATEGORIEN I BIS III (DWA 2016, S. 40)	20
TABELLE 5: FLÄCHENGRUPPIERUNG DER MISCH-, TRENN- UND AUßENGEBIETE GEMÄß DWA 2016	27
TABELLE 6: SCHMUTZWASSERKONZENTRATIONEN FÜR DAS PROJEKTGEBIET KIRDORF	30
TABELLE 7: KENNWERTE-ERMITTLUNG FÜR DAS SYSTEM KIRDORF - TEIL I.....	34
TABELLE 8: KENNWERTE-ERMITTLUNG FÜR DAS SYSTEM KIRDORF - TEIL II.....	35
TABELLE 9: BEMESSUNGSVERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DES ERFORDERLICHEN SPEICHERVOLUMENS FÜR DAS PROJEKTGEBIET KIRDORF NACH TABELLE 8 AUS DWA-A 102	36
TABELLE 10: ERMITTLUNG DER MINIMALEN AFS63- KONZENTRATION IM NIEDERSCHLAGSABFLUSS	38
TABELLE 11: KENNWERTE BEIDER SYSTEMZUSTÄNDE ALS ERGEBNISWERTE AUS DER ANWENDUNG VON NACHWEISVERFAHREN	43
TABELLE 12: IMMISSIONSNACHWEIS KIRDORFER BACH	44
TABELLE 13: AFS63-KONZENTRATIONEN FÜR MODELLVARIANTEN "MINIMUM" UND "MAXIMUM"	46
TABELLE 14: ERMITTLUNG DER STOFFABTRAGSFRACHTEN FÜR MODELLVARIANTE "MINIMUM" UND „MAXIMUM“.....	47
TABELLE 15: GEGENÜBERSTELLUNG DER AFS63-JAHRESENTLASTUNGSFRACHTEN VON MODELLVARIANTEN "MINIMUM", „MAXIMUM" UND „KIRDORF“	47

IV. Abkürzungsverzeichnis

Symbol	Erläuterung
a	anno
ACP	allgemeine chemische und physikalisch-chemische Parameter
A _{eo}	oberirdisches Einzugsgebiet bis zur Einleitstelle
a _f	Fließzeitabminderung
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
AFS63	Abfiltrierbare Stoffe < 63 µm
ASS	Absetzbare Stoffe
A _U	Undurchlässige Fläche
B _E	Einleitungsfracht des Bauwerks
b _G	Spezifische kritische Grenzfracht (kg/km ² *a)
B _G	Resultierende Gewässerfracht (kg/a)
b _{R,a}	flächenspezifischer jährlicher Frachtabtrag durch Niederschlagsabfluss
b _{R,e,zul}	zulässige flächenspezifische jährliche Frachteinleitung durch Niederschlagsabflüsse
B _v	Vorbelastungsfracht
b _v	spezifische Vorbelastungsfracht
BWK	Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Cu	Kupfer
DTV	Durchschnittlich tägliche Verkehrsbelastung
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V
f _{Au,A128}	Flächenkennwert nach ATV-A 128
GIS	Geoinformationssystem
GUS	Gehalt an Feststoffen in feindisperser Form
ha	Hektar
h _{Na}	Jahresniederschlagshöhe
h _{Na,eff}	abflusswirksame Jahresniederschlagshöhe
KA	Kläranlage
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PM	particulate matter
SMUSI	Schmutzfrachtsimulation
SS	sediment solids
TSS	total suspended solids
V	Speichervolumen
V _s	spezifisches Speichervolumen
V _{S,Min}	spezifisches Mindestspeichervolumen
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1. Einleitung

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) und das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) setzen sich als Ziel, natürliche Gewässer als ein wichtiges Umweltkompartiment des Naturraums zu schützen und im Falle einer Störung wiederherzustellen. Der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potential der Gewässer, welches durch einen guten chemischen Zustand, eine naturnahe morphologische Gewässersituation und eine an den natürlichen Wasserhaushalt angenäherte Abflusssituation im Gewässer definiert ist, wird angestrebt. Nach EU-WRRL bietet eine naturnahe Morphologie den erforderlichen Lebensraum für ein gutes Gewässer und setzt vor allem eine naturnahe Abflusssituation voraus. Um diese genannten Ziele zu sichern, wird vom Gesetzgeber die Umsetzung einer kombinierten Emissions- und Immissionsbetrachtung vorgegeben. Das Arbeitsblatt DWA-A 102/ BWK-A 2 soll das Regelwerk für eine kombinierte Betrachtungsweise darstellen. Bisherige emissions- und immissionsorientierte technische Regelwerke für Misch- und Niederschlagswassereinleitungen sollen in diesem einen Arbeitsblatt gebündelt und vereinheitlicht werden.

Bislang existieren keine bundesländerübergreifenden Grenzwerte für abfiltrierbare Stoffe (AFS) im Abfluss. Diesen Feststoffen wird eine besondere Bedeutung beigemessen, da die mitgeführten Feststoffe durch die Verklebung des Interstitials entweder als Problemstoff selbst oder als Träger von Schadstoffen wirken. Bei Niederschlag werden die auf der Fläche deponierten Feststoffe mit ausgewaschen und im Falle eines Entlastungsereignisses ins Gewässer eingeleitet. In dem neuen sich noch im Gelbdruck befindlichen Arbeitsblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) DWA-A 102 ist der neue Referenzparameter AFS63 als Beurteilungsgröße für die stoffliche Belastung im Niederschlagsabfluss herangezogen worden. Der Begriff AFS63 stellt dabei die Abkürzung für abfiltrierbare Stoffe mit Korngrößen kleiner $63\ \mu\text{m}$ dar. In der Literatur finden sich Synonyme für AFS63: AFS_{fein} und im Englischen PM63. Die Einführung von AFS63 ist dem Sachverhalt verschuldet, dass im Rahmen der Emissionsbetrachtungen akkumulierende Wirkungen stofflicher Belastungen vorherrschen (DWA 2016, S. 26). Viele der Schadstoffe werden in Niederschlagsabflüssen und hauptsächlich in der partikulären Phase transportiert (DWA 2010, S. 3). Bei Regenwetterfall werden die akkumulierten Schadstoffe in AFS63 durch die abfließenden Niederschlagsmengen teilweise oder vollständig mobilisiert und erreichen in unterschiedlichen Anteilen das Gewässer. Zusätzlich ist die Schädlichkeit der AFS63 darin begründet, dass sie das Lückensystem von Gewässersohlen verstopfen und damit die Sauerstoffaufnahme der dort lebenden Organismen beeinträchtigen. Es liegen jedoch bislang nur wenige Kenntnisse über das genaue AFS63- Aufkommen und –Verhalten vor.

Ziel der Arbeit ist es daher, den neuen Referenzparameter AFS63 bezüglich Herkunft und Zusammensetzung näher zu beleuchten, da das Aufkommen von AFS63 stark abhängig von der Art der Herkunftsfläche ist (Dierschke 2014, S. 5). Es soll erläutert werden, inwiefern die Einführung eines neuen Parameters neben dem bereits gängigen Stoffparameter wie beispielsweise CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) gerechtfertigt ist. In diesem Kontext soll aufgezeigt werden, für welche potentiell gewässergefährdenden Stoffe AFS63 als Referenzgröße verwendet werden kann und welche Unsicherheiten in der Beschreibung der jeweiligen wässergefährdenden Stoffgruppe mit AFS63 einhergehen.

Eine weitere Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Neufassungen der Regelwerke DWA-A 102 und BWK-A 3 hinsichtlich des Parameters AFS63 zu betrachten. Die im Arbeitsblatt verwendeten

Eingangsgrößen, Nachweise und Prüfgrößen für den AFS63 sind aufzuzeigen und anschließend als praktische Umsetzung auf ein reales Einzugsgebiet anzuwenden. Abschließend werden die Ergebnisse vorgestellt und mit Ergebnissen der bisherigen Nachweisgrößen verglichen und bewertet. Zudem werden Grenzen und Möglichkeiten bei der Modellierung mit dem AFS63-Parameter aufgezeigt.

Einleitend werden in Kapitel 2 allgemein die abfiltrierbaren Stoffe definiert und ihre Vorkommen sowie deren Zusammensetzung beschrieben. Dabei wird auf die AFS63 näher eingegangen.

Anschließend werden im Kapitel 3 die AFS63 als Trägersubstanz für Schadstoffe identifiziert. Es wird in diesem Abschnitt differenziert nach organischen und anorganischen Schadstoffen ein Überblick über relevante Schadstoffe, die an AFS63 partikulär transportiert werden, gegeben.

Das Arbeitsblatt DWA-A 102 wird hinsichtlich seiner Eingangsgrößen, Nachweise und Prüfgrößen in Kapitel 4 umrissen.

In Kapitel 5 werden die theoretischen Grundlagen praktisch auf ein reales Einzugsgebiet, welches zuvor eingegrenzt wird, angewandt, wobei die vorliegende Datengrundlage für den Emissionsnachweis erläutert wird. Mit dem Programm ArcGIS wird das Projektgebiet in Flächen typisiert und eingeteilt. Die Begründungen, warum eine Fläche einem bestimmten Flächentyp zugehört, sind hier zu finden. Aufbauend auf den ermittelten Flächendaten kann der Datensatz, der für den momentanen Emissionsnachweis gemäß SMUSI-Erlass 1991 aufgesetzt wurde, im Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI verändert werden. Die vorgenommenen Änderungen samt Begründungen werden angegeben. Anschließend kann mit den Ergebnissen aus der Simulation der Immissionsnachweis durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden ausgewertet und mit dem bisherigen Emissionsnachweis verglichen. Zusätzlich werden zwei Modellvarianten berechnet, die minimale und maximale Eingangsgrößen besitzen. Hierbei wird die mögliche Spannweite der Ergebnisse verdeutlicht. Am Ende dieses Kapitels werden die während der Bearbeitung aufgetretenen Problematiken aufgezeigt.

Die Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung mit dem neuen Referenzparameter AFS63 werden in Kapitel 6 dargestellt.

Kapitel 7 geht auf bisherige Regelwerke und die darin vorkommenden Nachweisgrößen ein. Die bisherige Nachweisgröße CSB, die bei der Emissionsbetrachtung durch den neuen Parameter ersetzt wird, wird hier mit dem AFS63 verglichen. Schlussendlich werden in Kapitel 8 die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert, zusammengefasst und ein Ausblick für zukünftige Forschungen gegeben.

2. Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Im Folgenden wird ein Überblick über den Parameter „Abfiltrierbare Stoffe“, kurz AFS genannt, hinsichtlich seiner Zusammensetzung je nach Vorkommen, gegeben. Bei dieser Betrachtung wird ein zusätzlicher Schwerpunkt auf die abfiltrierbaren Stoffe $< 63 \mu\text{m}$ (AFS63) gelegt.

2.1. Definition

Abfiltrierbare Stoffe, im Englischen auch total suspended solids bzw. sediment solids (TSS bzw. SS) genannt, sind Sink-, Schweb- und Schwimmstoffe im Wasser oder Abwasser. Zusammen mit den gelösten Stoffen ergeben die abfiltrierbaren Stoffe die gesamten Inhaltsstoffe (Trockenrückstand).

Bei Filtration von 1 l Abwasser durch einen Papier-, Membran- oder Glasfaserfilter wird der Rückstand samt Filter bei 105°C getrocknet. Nach Abzug des Filtergewichts ergibt sich der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen in mg/l. (Fuchs-Hanusch et al. 2014, S. 167)

2.2. Vorkommen und Zusammensetzung

Das Aufkommen vom AFS-Gehalt wird beeinflusst von den Randbedingungen eines Einzugsgebiets. Der Gehalt unterscheidet sich stark in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche und den dort charakteristischen Belastungsquellen (Dierschke 2014, S. 5). Die Herkunft und Zusammensetzung der AFS wird nachfolgend differenziert beschrieben.

2.2.1. Staubbiederschlag

Die Qualität von Niederschlagsabflüssen wird maßgeblich vom Staubbiederschlag beeinflusst.

Staubbiederschlag besteht überwiegend aus Staubbemissionen, die aufgrund der Größe der Staubbpartikel durch schnelles Absinken gekennzeichnet sind (Dierschke 2014, S. 6).

Staub hat unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften, abhängig von der jeweiligen Region. Sein Partikelgrößenbereich reicht von wenigen Nanometern bis zu etwa $200 \mu\text{m}$, weswegen Staub im Niederschlagsabfluss relevant für die AFS-Belastung im Gewässer ist (Möller 2009, S. 118). Die Staubbbelastungen in ländlichen Gebieten betragen 2,5 bis $3,3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Monat}$ und in industriellen Gebieten 10 bis $60 \text{ g/m}^2 \cdot \text{Monat}$. Typische AFS- Gehalte im Staubbiederschlag liegen zwischen 2 bis 24 mg/l . (Welker 2004, S. 130)

Die vorhandenen Staubbpartikel entstammen entweder primären oder sekundären Quellen. Partikel aus primären Quellen entstehen direkt an der Quelle und sind überwiegend größer $1 \mu\text{m}$ wie beispielsweise Meeressalz, Bodestaub, Vulkanasche, Flugasche (Dierschke 2014, S. 7). Durch luftchemische Prozesse entstandene Partikel, die kleiner $1 \mu\text{m}$ sind, gehören zu den sekundären Quellen. Unter luftchemischen Prozessen werden chemische Reaktionen und/oder Anlagerungen verstanden. Zu sekundären Quellen gehören Branchen wie die Landwirtschaft, Industrie und Verkehr. Sie können räumlich heterogen verteilt sein und jahreszeitliche Schwankungen hinsichtlich ihrer Quellstärken aufweisen. (Möller 2009, S. 118)

Staubniederschlag setzt sich auch aus einem Anteil Feinstaub zusammen. Als Jahresmittelwerte für die gegenwärtige PM (particulate matter)- Belastung ergibt sich nach UBA-Daten für ländliche Gebiete ein Wert von 19 ± 3 und städtische Bereiche von $27 \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Möller 2009, S. 122). Als Feinstaub werden die luftgetragenen, fein verteilten festen Partikel mit einem Durchmesser kleiner als ca. $60 \mu\text{m}$, meistens kleiner als $30 \mu\text{m}$ bezeichnet, die nicht sofort zu Boden sinken. Die im Staubniederschlag enthaltenen Feinstaubpartikel sind weit entfernt entstanden und werden durch Wind transportiert. Feinstaubpartikel agglomerieren durch Wachstumsprozesse in der Luft, ehe sie als Staubniederschlag auf den Boden sinken (Dierschke 2014, S. 6-12). Der gesamte Feinstaub im Staubniederschlag lässt sich nach (Möller 2009) zu jeweils 1/3 aufteilen in:

- Unlösliche anorganische Bestandteile (Bodenstaub)
- Wasserlösliche anorganisch-ionische Bestandteile und
- Organischen und elementaren Kohlenstoff.

Bei einem Regenereignis wird jedoch nur ein geringer Teil dieses Feinstaubes (0 bis 50 %) aus der Luft ausgewaschen. Die Beurteilung der AFS-Belastung von Niederschlagsabflüssen ist daher mit der Angabe des Feinstaubes nicht geeignet. Zielführender ist die Wahl der trockenen und nassen Deposition als Beurteilungsgrundlage für den Gesamtgehalt der Feststoffe, welche als Staubniederschlag in $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ oder $[\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ angegeben wird. Es herrschen für alle Flächen ähnliche Belastungen aus dem Staubniederschlag vor, wobei lokale Aktivitäten, wie z.B. Straßenverkehr oder Industriebetrieb, zu punktuellen Erhöhungen des Staubniederschlags führen können. (Dierschke 2014, S. 9-10)

Der Staubniederschlag setzt sich aus Inhaltsstoffen geogener und anthropogener Herkunft zusammen, wobei die anthropogene Quelle maßgeblich für diese Arbeit ist. Zu den Inhaltsstoffen des Staubniederschlags gehören unter anderem metallisches Eisen, Blei, Kupfer, Abriebpartikel, Calciumsilikate und Gips. Im Staubniederschlag findet sich auch organisches Material, vor allem in der Vegetationszeit durch den Eintrag von Pollen oder Blüten und Laubbestandteile in die Luft. Durch Abgase im Straßenverkehr werden Stickoxide, Kohlenstoffmonoxide, Ruß, Blei, Schwefel, Kupfer, Zink, PAK, Phenole und PCDD/ PCDF in die Luft emittiert. Bei Messung von organischen Schadstoffen konnten zahlreiche Einzelstoffe der polychlorierten Biphenyle (PCB) oder der polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen nachgewiesen werden. (Dierschke 2014, S. 48)

2.2.2. Verkehrsflächenabfluss

Unter Verkehrsflächenabfluss wird der Niederschlagsabfluss bestehend aus Verbrennungsrückständen von Motoren, Bremsen- und Reifenabrieb sowie aufgewirbelter Staub von Straßenoberflächen verstanden. Verkehrsbedingte Einträge umfassen das gesamte Korngrößenspektrum von gelöst über fein bis sehr grob. (Dierschke 2014, S. 13–40)

Verbrennungsrückstände sind unter anderem Ruß, welches durch unvollständiges Verbrennen entsteht. Ruß liegt mit einer Größe von $0,01$ bis $0,3 \mu\text{m}$ vor, welcher zu größeren Aggregaten zusammenwachsen kann. Aufgrund seiner geringen Größe wird Ruß bei einer Feinstaubbetrachtung relevant. (Dierschke 2014, S. 13)

Der Fahrbahnabrieb ist abhängig von vielen Faktoren im Einzugsgebiet und aufgrund dessen in seiner Inhaltsstoffzusammensetzung variabel. Schwermetalle wie Chrom, Nickel, Blei oder Zink sind im Kontext des Fahrbahnabriebs näher zu beleuchten. Beim Fahrbahnabrieb ist vor allem der gröbere Anteil mit $>63\ \mu\text{m}$ Korngröße vorhanden (Dierschke 2014, S. 13–14). Analog zum Fahrbahnabrieb ist auch der Reifenabrieb abhängig von den verschiedenen Eigenschaften des Einzugsgebiets wie Fahrbahnstruktur, -verhalten und Verkehrssituation. Bei einer möglichen Schadstoffbetrachtung durch Reifenabrieb ist der Fokus vor allem auf die schwer abbaubaren organischen Stoffe und Schwermetalle wie Zink und Cadmium zu legen (Dierschke 2014, S. 14).

Der durch den Bremsabrieb hervorgerufene Feinstaub deckt überwiegend die Größenordnung von $2,5\ \mu\text{m}$ bis $10\ \mu\text{m}$ ab, welche im Größenbereich der AFS63 liegt. Der Bremsabrieb setzt sich zusammen aus Graphit, metallischem Eisen, Messing, Kupfer und Silikaten im Korngrößenbereich 50 bis $150\ \mu\text{m}$ (Dierschke 2014, S. 14).

In der Fachwelt wird versucht, eine Korrelation von Feststoffbelastung in Niederschlagsabflüssen und der durchschnittlich täglichen Verkehrsstärke (DTV) herzustellen. Während einige Studien keine Zusammenhänge gefunden haben, stellten groß angelegte, umfassende Studien in den USA einen signifikanten Einfluss der DTV auf die Verschmutzung der Straßenabflüsse fest. Der Grund für die scheinbar widersprüchlichen Studien liegt darin, dass andere Einflussfaktoren wie die Größe des Einzugsgebiets, Flächennutzung, Dauer der vorangegangenen Trockenperiode, der Niederschlag, die Niederschlagsmenge und maximale Regenintensität den Abtrag von Feststoffen überprägen (Kayhanian et al. 2003, S. 989). Außerdem können feine Anteile durch Verkehrsturbulenzen aufgewirbelt werden, sodass sie sich im Feinstaub der Luft wiederfinden und in die Umgebungsluft transportiert werden. Gerade die Fahrgeschwindigkeit spielt bei verkehrsbedingten Turbulenzen eine Rolle. Dieser turbulenzenverursachte Transport kann erklären, warum der Zusammenhang zwischen DTV und AFS in Verkehrsflächenabflüssen insbesondere bei Autobahnen nicht mehr herzustellen ist (Dierschke 2014, S. 14–29).

Korrosionsprodukte im Niederschlagsabfluss führen zu einer Erhöhung des Eisengehalts (Herrera Environmental Consultants 2007). Im Winter lässt sich zusätzlich die Belastung aus einer frostbedingten Fahrbahnzerstörung, Salz- oder Splitstreueung anführen, was sich unter Umständen im Abfluss finden lässt (Dierschke 2014, S. 18).

In Straßenabflüssen werden AFS-Konzentrationen von ca. 24 bis zu $1.925\ \text{mg/l}$ gemessen, was wesentlich höher ist als in Dachabflüssen (siehe 2.2.3. Dachflächenabfluss). Die große Spanne bei den Werten lässt sich mit der besonders hohen Heterogenität der Daten erklären, da das Aufkommen und die gemessenen Konzentrationen von Feststoffen von vielen Faktoren beeinflusst werden wie z.B. Windverfrachtungen, Straßenreinigung und Probenahmen (Welker 2004, S. 131).

Der Verkehrsflächenabfluss setzt sich zusammen aus den Inhaltsstoffen des Staubniederschlags, Kraftfahrzeugverkehr und einer Vielzahl weiterer Stoffe, die je nach Randbedingungen oder Stoffeigenschaft überwiegend gelöst oder partikulär vorliegen. Abhängig von Straßentyp und Umgebung finden sich im Verkehrsflächenabfluss Abfälle, tierische Exkremente und tierische Reste. Auch Metalle wie Eisen, Zink, Kupfer und Chrom liegen in Straßenabflüssen vor, wobei sie überwiegend partikulär an

AFS gebunden sind. Cadmium wiederum findet sich überwiegend gelöst im Straßenabfluss (Dierschke 2014, S. 50).

2.2.3. Dachflächenabfluss

Der Dachabfluss setzt sich aus Staubbiederschlag, Dachabrieb und Pollen zusammen. Der Dachabrieb ist umso größer, je rauer das Material ist (Dierschke 2014, S. 20). Die AFS- Konzentrationen in Dachabflüssen reichen von ca. 3 bis 290 mg/l (Welker 2004, S. 131).

Der Dachabfluss enthält die Inhaltsstoffe des Staubbiederschlags und des verwendeten Dachmaterials im dazugehörigen Einzugsgebiet. Durch Dachabrieb oder Korrosionserscheinung findet sich Dachhaut im Dachabfluss. Je nach benutztem Dachmaterial sind diese Elemente im Abfluss zu finden: Sand, Lehm, Kupfer, Zink, Blei, Quarz, Glimmer und Eisenhydroxid. Gerade Metaldachflächen tragen zu erhöhten stoff- und standortabhängigen Schwermetallkonzentrationen im Regenabfluss bei (Dierschke 2014, S. 54). Durch die Verwendung von Kupfer und Zink im traditionellen Dachbau sind diese Dachmaterialien bekannt als Quelle für Metalle in Niederschlagsabflüssen (Helmreich 2010, S. 12).

2.2.4. Sonstige Einträge

Sonstige Einträge finden lokal durch bauliche und landwirtschaftliche Tätigkeiten statt. Der Korngrößenbereich dieser eingetragenen Feststoffe kann von wenigen μm bis zu einigen Millimetern reichen. (Dierschke 2014, S. 23)

Die Niederschlagsbelastung durch Pollen kann in der frühen Vegetationsphase hoch sein. Die meisten Pollen haben eine Größe zwischen 10 und 100 μm , wodurch es in dezentralen Behandlungsanlagen zu Kolmationsproblemen kommen kann. Pollen stellen oft einen punktuellen Eintrag dar und sedimentieren nur einige wenige 100 Meter von der Emissionsquelle entfernt als Staubbiederschlag. (Dierschke 2014, S. 70)

2.3. AFS63

Während zum Gesamt-AFS ausreichende Untersuchungen vorliegen, gibt es zu den verschiedenen Kornklassen deutlich weniger Studien. Oftmals wird die feine Kornfraktion „AFS_{fein}- Fraktion“, auch AFS63 genannt, mit einer Korngröße $< 63 \mu\text{m}$ definiert. Die Korngröße kennzeichnet den Grenzbereich zwischen den feinen schlecht oder nicht absetzbaren Schluff- und Tonanteilen sowie den gröberen, sedimentierbaren Sand- und Kiesanteilen (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2010, S. 16).

Zur Bestimmung des AFS63- Anteils wird die Probe mithilfe eines Siebes mit der Maschenweite von $63 \mu\text{m}$ gesiebt und über einen Filter, der in der Regel eine Porengröße zwischen $0,45 \mu\text{m}$ und $12 \mu\text{m}$ aufweist, gefiltert. Die zu verwendende Porengröße ist nicht offiziell festgelegt, wodurch es oft nicht klar ist, welche Korngrößen tatsächlich vorliegen. Der Umstand führt gegebenenfalls zu einer minimalen Verschiebung des Gehalts einer Probe. Es hat sich in der Praxis bewährt, einen Membran- oder

Glasfaserfilter mit einer Porenweite von $0,45\ \mu\text{m}$ bei der Probenbestimmung zu verwenden, damit nur die gelösten Stoffe den Filter passieren (Dierschke 2014, S. 40).

Feststoffe in Niederschlagsabflüssen können mit Schadstoffen belastet und Maß für die Verschmutzung einer Herkunftsfläche sein. Gerade die Gruppe AFS_{fein} bzw. AFS63 wird aufgrund der höheren Schadstoffbelastung und daraus resultierenden höheren Gewässerbelastung in der Fachwelt intensiv diskutiert. Durch bisherige Untersuchungen kann von einer Feinpartikelfracht von 200 bis $400\ \text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ im Regenabfluss aus den beobachteten Gebieten ausgegangen werden (Fuchs et al. 2010, S. 663). Es treten ortsspezifisch hohe Konzentrationsschwankungen auf, die durch saisonale Effekte wie z.B. Baumbüte oder Streusalzanwendung hervorgerufen werden. Die feine Fraktion der Feststoffe transportiert u. a. Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) oder weitere organische Schadstoffe (Fuchs et al. 2010, S. 663–664), weswegen der Parameter AFS63 zukünftig als Bewertungsmaßstab für die Behandlungsbedürftigkeit einer Fläche gelten soll.

Im neuen Arbeitsblatt DWA-A 102/ BWK A-3 wird eine Eingrenzung auf den Feinanteil der Feststoffe $< 63\ \mu\text{m}$ vorgenommen. Der gewählte Feststoffanteil weist nach Untersuchungen des Amts für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern den Hauptanteil der partikulär transportierten Schadstoffe wie Schwermetalle und organische Schadstoffe auf (Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern 2006). In Kapitel 3.1 wird auf diesen Punkt näher eingegangen.

2.3.1. Staubniederschlag

Nach Gruber 1981, S. 182 ist der Korngrößenbereich kleiner $63\ \mu\text{m}$ von etwa 75% bis zu 95% im Staubniederschlag enthalten. Die Quantität und Zusammensetzung des Staubniederschlags hat sich aufgrund der verbesserten Maßnahmen bezüglich der Abgasbehandlung in Industrie- und Verbrennungsprozessen verändert: Der Staubniederschlag ist gesunken, wobei der Staub aus Verbrennungsprozessen durch Filtereinsatz im Abgas feiner geworden ist. Es wird angenommen, dass der Feinstaub-Anteil mit mittleren aerodynamischen Durchmessern $< 10\ \mu\text{m}$ mindestens 90% beträgt. Dieser Wert gilt für Stäube aus Verbrennungsprozessen, die mit einer Entstaubungsanlage ausgestattet sind. Der Anteil an abfiltrierbarer Stoffe $< 63\ \mu\text{m}$ im Staubniederschlag liegt oftmals zwischen 70% und 90%, abhängig von der jeweiligen Aktivität des Einzugsgebietes. Da keine neuen Erkenntnisse aus Europa oder Deutschland vorliegen, wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass etwa 80 % des Gesamtstaubniederschlags den AFS63-Anteil ausmachen. (Dierschke 2014, S. 42-69)

Die Staubniederschläge werden als nicht gesundheitsgefährdend eingestuft. Es kann jedoch zu schädlichen Bodenveränderungen oder Gewässerverunreinigungen durch den dauerhaften Eintrag von Luftschadstoffen kommen (Dierschke 2014, S. 11).

2.3.2. Verkehrsflächenabfluss

Die vorliegenden Daten zu den Korngrößenverteilungen im Verkehrsflächenabfluss sind undetailliert und nicht umfangreich. Bei der Probenahme, Analytik und Auswertung der Daten kann es zu Verfälschung der eigentlichen Kornverteilung kommen, da feine Feststoffe bei längerer Aufbewahrung der Niederschlagsabflussproben unter Umständen zu größeren Partikeln agglomerieren. Der

Partikelbereich kann beim Verkehrsflächenabfluss bis zu 2000 μm reichen. Die Feinanteile von Feststoffen in Straßenabflüssen $<63 \mu\text{m}$ betragen etwa 40% bis 90%, im Schwerpunkt 60% bis 70%, wobei die Abhängigkeit der Kornverteilung von Jahreszeit, Niederschlagsgeschehen und Straßenreinigungsintervallen im Einzugsgebiet zu berücksichtigen ist. (Dierschke 2014, S. 43)

2.3.3. Dachabfluss

In Regelwerken und Arbeitsblättern wird davon ausgegangen, dass sich im Dachablauf die abfiltrierbaren Stoffe vollständig unterhalb der 63 μm - Grenze befinden. Auch im später betrachteten Regelwerk DWA-A 102 wird von dieser These ausgegangen. Diese Annahme kann jedoch bei der Anwendung irreführend sein, da der Staubbiederschlag als Hauptbestandteil des Dachabflusses schon allein oft Korngrößen bis zu 200 μm aufweisen kann. Auch der Dachabrieb, beispielsweise Korrosionsprodukte, kann größer als 63 μm sein. Weitere Untersuchungen zum Feinanteil des Dachabflusses sind notwendig. (Dierschke 2014, S. 46)

2.3.4. Sonstige Einträge

Der Niederschlagsabfluss umfasst auch Einträge aus der Bodenerosion, aus landwirtschaftlichen Tätigkeiten sowie aus Baustellenstaub und -verschmutzungen, wodurch das gesamte Spektrum an Korngrößen von gelöst über AFS63 bis zu Partikeln größer 2000 μm vorkommen kann (Dierschke 2014, S. 47).

3. AFS63 als Trägersubstanz für Schadstoffe

Es gibt mehrere Gründe, weshalb AFS63 oder auch allgemein feinkörnige Fraktionen höhere Schadstoffkonzentration aufweisen als gröbere Partikelfractionen. Zum einen sind sie oft direkte Produkte von Fahrzeugaktivitäten, zum anderen besitzen sie eine relativ große Oberfläche pro Masseneinheit, also eine hohe spezifische Oberfläche, wodurch sie damit eine höhere Adsorptionsrate als größere Partikel besitzen. Außerdem zeichnet die feinkörnige Fraktion eine geringe Dichte aus, infolgedessen die Absetzbarkeit der Partikel erschwert wird. Ein großer Anteil von organischen Stoffen und bestimmten Tonmineralien ist kennzeichnend für die feinkörnige Fraktion, was die Adsorption von Metall begünstigt. (Deletic und Orr 2005, S. 50)

3.1. Organische Schadstoffe

Unter organischen Schadstoffen sind organische umweltrelevante Verbindungen zu verstehen, da sie toxisch oder persistent und/oder bioakkumulierend sind. Trotz etlicher Beschränkungen und Verboten seitens der Regierung sind diese Stoffe noch immer teilweise in umweltrelevanten Mengen im Wasserkreislauf zu finden.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bezeichnet die Stoffgruppe von Verbindungen, die aus zwei bis sieben Ringen von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut sind. (Umweltbundesamt 2016, S. 5)

Durch ihre krebserregenden, bioakkumulierenden und toxischen Eigenschaften für Mensch und Umwelt sind PAK als besorgniserregend einzustufen. Einige PAK sind gleichzeitig persistent, wodurch die Stoffe sehr lange in der Umwelt bleiben, ohne abgebaut zu werden. Den Weg ins Gewässer finden PAK über Hausfeuerungen, Produktionsprozesse, Emissionen aus Verkehrsbelastungen und diffusen anderen Quellen (Umweltbundesamt 2016, S. 6). Durch Niederschlagsereignisse kommt es zu signifikanten Einträgen in Gewässer durch belastete Oberflächenabflüsse. Sie werden vorwiegend partikelgebunden transportiert (Welker 2004, S. 217). Bei Freisetzung von PAK wandeln sich die verschiedenen PAK teilweise um, binden sich an Ruß und Staubpartikel und werden mit dem Niederschlagsabfluss in die unterschiedlichen Umweltmedien eingeleitet, so auch ins Gewässer (Wäber und Pompe 2017, S. 10). Zur Bestimmung der PAKs sind die wichtigsten 16 Vertreter von der amerikanischen Bundesumweltbehörde (US-Environmental Protection Agency) in einer Liste erfasst und als ein Summenparameter EPA-PAK₁₆ dargestellt worden (Umweltbundesamt). Die EPA-PAK₁₆ Konzentration in Niederschlagsabflüssen liegt zwischen 0,3 bis 9,4 µg/l, wobei der Mittelwert des dominierenden Konzentrationsbereichs ca. 1,3 µg/l beträgt. (Fuchs-Hanusch et al. 2014, S. 80).

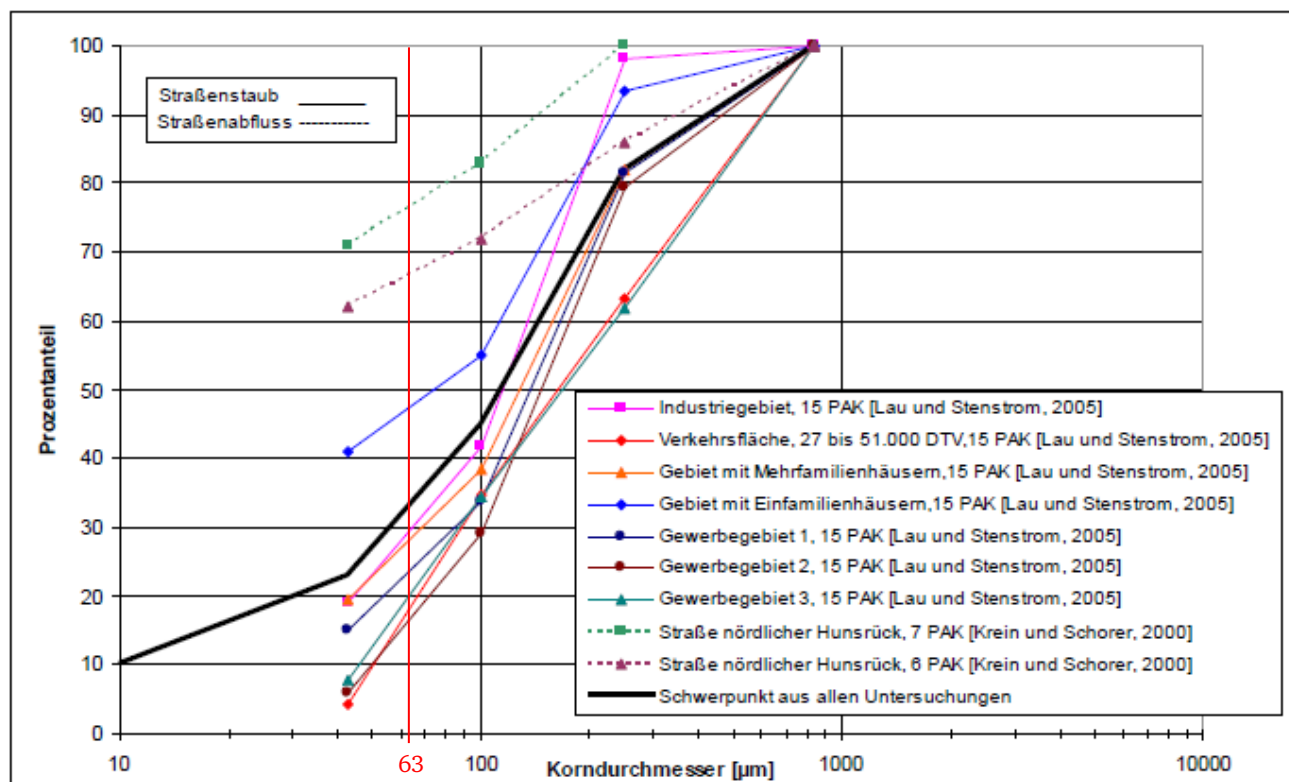


Abbildung 1: PAK an unterschiedlichen Kornfraktionen von Straßenstaub und im Straßenabfluss (DWA 2010, S. 132)

Abbildung 1 verdeutlicht, dass PAK sich zu einem hohen Anteil an die Feinfraktionen des Straßenstaubs binden. Die schwarze Linie stellt dabei die Schwerpunktlinie aus allen Untersuchungen dar. Bei Betrachtung des Schwerpunktgraphen ist zu erkennen, dass sich ca. 35 % aller PAK an die AFS63 anlagern. An den Feinfraktionen des Straßenstaubs sind etwa 80 % PAK gebunden. Es lässt sich außerdem eine Abhängigkeit der Region beobachten: In ländlichen Gebieten wie Hunsrück und in Gebieten mit überwiegend Einfamilienhäusern ist die Neigung der PAK-Stoffe, sich an die Feinfraktionen zu binden, stärker als in Gewerbegebieten oder auf Verkehrsflächen. (DWA 2010, S. 132)

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Als Polychlorierte Biphenyle werden Gemische aus Isomeren des Biphenyls bezeichnet, bei denen mehrere Wasserstoffatome durch Chloratome ersetzt wurden. Die Wirkung von PCB ist im Gewässer als langfristig einzuordnen. PCBs repräsentieren die Gruppe von persistent organischen Schadstoffen, die dazu tendieren sich an Partikel im Wasser zu binden. Durch den Transport mit Feststoffen sind PCB im Gewässersediment, Klärschlamm und Boden zu finden. (Welker 2004, S. 109-112). In einer Studie konnte gezeigt werden, dass ein signifikanter Zusammenhang zwischen der PCB-Konzentration und der Korngrößenfraktion 40-63 µm besteht (Busch et al. 2007, S. 108).

Phosphor

Da sich die Hauptwirkung von Phosphorverbindungen durch eine Eutrophierung auszeichnet, stehen akkumulierende Belastungen durch niederschlagsbedingte Einleitungen im Vordergrund. Niederschlagsabflüsse sind im Vergleich zum Schmutzwasser- und Mischwasserabfluss wesentlich geringer mit Phosphorverbindungen belastet (DWA 2010, S. 28). Bei Untersuchungen zu Gesamt-

Phosphor-Konzentrationen konnten Werte zwischen 0,2 und 1,0 mg/l festgestellt werden (Welker 2004, S. 157).

Sartor und Boyd haben in ihrer Untersuchung von Straßenniederschlagsabflüssen für die Korngrößenfraktion $< 43 \mu\text{m}$ eine Gesamtphosphorbeladung von 56,2 % ausgemacht (Sartor et al. 1974, S. 463).

3.2. Anorganische Schadstoffe

Das Ausmaß, inwieweit sich Metalle an Sedimentpartikel binden, ist abhängig vom Metall selbst und der betrachteten Korngrößenfraktion. Eine Studie von Sartor und Boyd zeigt, dass in dem von ihnen untersuchten Straßenabfluss nur 5,9 % der Gesamtpartikel als Kornfraktionen kleiner $43 \mu\text{m}$ vorlagen. Jedoch beträgt der Anteil an partikulär gebundenen Schwermetallen an dieser Kornfraktion über 50 %. (Sartor et al. 1974, S. 463). Auch Viklander untersuchte die Zusammensetzung des Straßenabflusses und fand die höchsten Schwermetallkonzentrationen in der kleinsten Korngrößenfraktion, die zuvor als kleiner $75 \mu\text{m}$ definiert worden ist (Viklander 1998, S. 764). In dieser Studie ist auch festgehalten worden, dass mit steigender Partikelgröße scheinbar die Konzentrationen einzelner Metalle abnehmen (Viklander 1998, S. 766).

Im Durchschnitt ist davon auszugehen, dass die Korngrößenfraktion $2 - 63 \mu\text{m}$ circa acht- bis zehnmal höhere Konzentration an Zink, Kupfer und Cadmium enthält als die Fraktion, die größer als $500 \mu\text{m}$ ist (Deletic und Orr 2005, S. 54). Abflüsse von Verkehrsflächen sind im Vergleich zu den Dachflächenabflüssen prinzipiell höher mit Schwermetallen belastet, da die Quellen von Schwermetallen überwiegend verkehrsbedingt sind (Welker 2004, S. 185). Es wird deutlich, dass für die Schwermetallbelastung gerade die kleinere Korngrößenfraktion eine wesentliche Rolle spielt. Grundsätzlich ist über Schwermetalle zu sagen, dass sie eine hohe Persistenz besitzen, woraus sich viele ihrer toxischen Wirkungen ergeben. Das Ausmaß der Toxizität ist abhängig vom einzelnen Schwermetall und des betroffenen Organismus (DWA 2010, S. 34).

Im Nachfolgenden wird auf ausgewählte, für die Gewässergüte relevante Schwermetalle eingegangen. Die angegebenen Konzentrationen sind verschiedenen Studien entnommen worden, weswegen die Konzentrationen aufgrund ortsspezifischer Einflüsse einer hohen Variabilität unterliegen.

Zink

Gewässerorganismen werden durch Zink erst bei relativ hohen Konzentrationen von 1000 bis 2000 $\mu\text{g/l}$ akut geschädigt. Da Phytoplankton und Blaualgen schon auf geringere Konzentrationen reagieren, wird eine ökotoxikologische Relevanz von Zink ab einer Konzentration von 0,5 bis 2 $\mu\text{g/l}$ angenommen. (Barjenbruch et al. 2016, S. 4)

Zinkkonzentrationen sind im Vergleich zu anderen Schwermetallen sehr variabel im Straßenniederschlagsabfluss. Über die Jahre konnte kein Trend festgemacht werden, in welche Richtung sich die Zinkkonzentrationen entwickeln. Dies ist möglicherweise ein Hinweis auf die beispielsweise mit

Zink hergestellten Sicherheitsabsperungen oder auch ortsspezifische Faktoren, die Reifen und Bremsen eines Fahrzeugs beeinflussen, wodurch die Konzentration in Abhängigkeit von vorher genannten Faktoren veränderlich bleibt. Bei Auswertung etlicher Messergebnisse aus unterschiedlichen Studien konnte in den 1980er Jahren eine gemittelte Konzentration von 264 µg/l und in den 2000er Jahren 162 µg/l im Niederschlagsabfluss ermittelt werden (Huber et al. 2016, S. 910). Der sichtliche Rückgang der Zinkwerte ist jedoch nicht signifikant. Studien in Augsburg und München zeigen auf, dass Zink zwischen 74 – 90 % partikulär gebunden ist (Helmreich 2010, S. 39). Die Feinfraktionen der Proben sind zwischen 24 % und 67 % mit Zink beladen (Deletic und Orr 2005, S. 50; Welker 2004, S. 187). Bei Untersuchung des städtischen Straßenverkehrsabflusses mit 20.000 Autos/Tag konnte gezeigt werden, dass Zink neben Blei die höchsten Konzentrationen im Fraktionsbereich <75 µm aufweist. Dieser Zusammenhang suggeriert eine starke Abhängigkeit von Verkehr mit der daraus entstehenden Zinkkonzentration im Niederschlagsabfluss (Viklander 1998, S. 764).

Kupfer

Kupfer ist für den Menschen ein essentielles Spurenelement, aber kann auf viele Mikroorganismen wachstumshemmend wirken (Welker 2004, S. 176). Ab einer Dosis von 100 µg/l wirken Kupferverbindungen in Gewässern auf Bakterien und Algen extrem toxisch. In Gewässern ist von einer ökotoxikologischen Relevanz ab 0,05 µg/l auszugehen. (DWA 2010, S. 35)

In einer Studie von Viklander über Straßenniederschlagsabflüsse ist eine Abhängigkeit der Kupferkonzentration von der Verkehrsbelastung festgestellt worden. Kupfer ist das einzige Metall, das bei weniger Verkehrsbelastung in höherer Konzentration vorliegt. Dies lässt sich auf verschiedene Fahrweisen zurückführen, wie z.B. ein vermehrter Einsatz von Bremsen. Darüber hinaus ist ein Vergleich durchgeführt worden, bei dem eine Probe aus einer Wohngegend mit mehr Verkehrsbelastung (5000 Autos/Tag) und die andere Probe von einem Stadtzentrum mit weniger Verkehrsbelastung (4500 Autos/Tag) hinsichtlich ihrer Metallkonzentration gegenübergestellt worden sind. Die Kupferkonzentration im Stadtzentrum ist mehr als doppelt so hoch als im Wohngebiet gewesen. Der doch gravierende Unterschied ist ein Indikator für die unterschiedlichen Quellen der Kupferbelastung (Viklander 1998, S. 765).

Nach einer Messreihe von Sartor und Boyd wurde für die Partikelfraktion < 43 µm eine Kupferbeladung von 45 bis 55% ermittelt (Sartor et al. 1974, S. 463). Für die Kornfraktion 6-60 µm im Mischwasserabfluss betrug die Kupferbeladung beispielsweise 56 %; im Straßenabfluss sogar 81 % (Welker 2004, S. 189). Bei einer Untersuchung in Augsburg wurde der partikuläre Kupfergehalt zu ca. 80 % bestimmt (Helmreich 2010, S. 39).

Nickel

Ab 100 µg/l können Gewässerorganismen geschädigt werden. Nickel schädigt die DNA, hemmt die DNA-Replikation und Reparaturmechanismen (Welker 2004, S. 177).

Die Nickelbeladung an feinen Partikeln kann abhängig von ortsspezifischen Einflussfaktoren und der Abflusstyp (Misch-, Straßen- oder Verkehrsflächenabfluss) zwischen 30 % bis 90% liegen. (Hahn und Xanthopoulos 1993, S. 91; Sartor et al. 1974, S. 463; Welker 2004, S. 187)

Blei

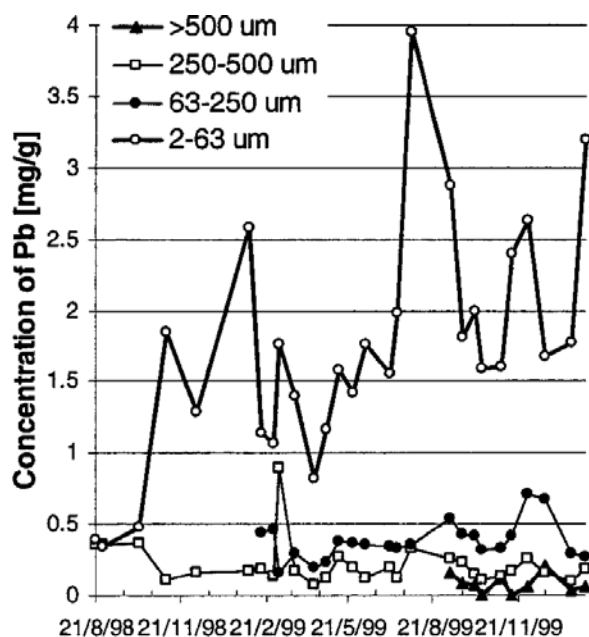
Blei ist ein chronisches Humangift, das durch industrielle Prozesse und verbleitem Benzin in die Gewässer gelangt ist (Welker 2004, S. 175). Insgesamt hat sich über die Jahre die Bleikonzentration erheblich verringert (Kayhanian et al. 2012, S. 6614). Die letale Dosis für Blei im Gewässer beträgt für Algen und Fische ca. 200 µg/l. Aus verschiedenen Wirkungsdaten an aquatischen Organismen wird eine ökotoxikologische Relevanz ab Konzentrationen von 3 bis 10 µg/l abgeleitet. (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2010, S. 34). Humantoxikologisch greift Blei das Blutbildungssystem, zentrale Nervensystem und die Nieren an (Welker 2004, S. 175).

Um die Relevanz der AFS63 für Blei vor allem im Straßenabfluss zu verdeutlichen, wird eine Studie aus dem Jahr 1993 aufgegriffen: Hahn und Xanthopoulos haben Untersuchungen im Straßenabfluss zur Verteilung der Feststoffe auf verschiedene Korngrößenfraktionen vorgenommen und dabei das Vorkommen von Schadstoffen in diesen Fraktionen gemessen. Es ist aus Tabelle 1 zu entnehmen, dass 40 % der AFS in Korngrößenklassen unterhalb 60 µm auftreten und 95% der gesamten Bleibelastung an diesen Kornklassen festzustellen ist. Vor allem die Fraktion zwischen 6 und 60 µm ist stark mit dem Schwermetall Blei belastet. Es ist ersichtlich, dass gerade die abfiltrierbaren Stoffe < 63 µm einen wichtigen Einfluss auf die Gewässerbelastung ausüben.

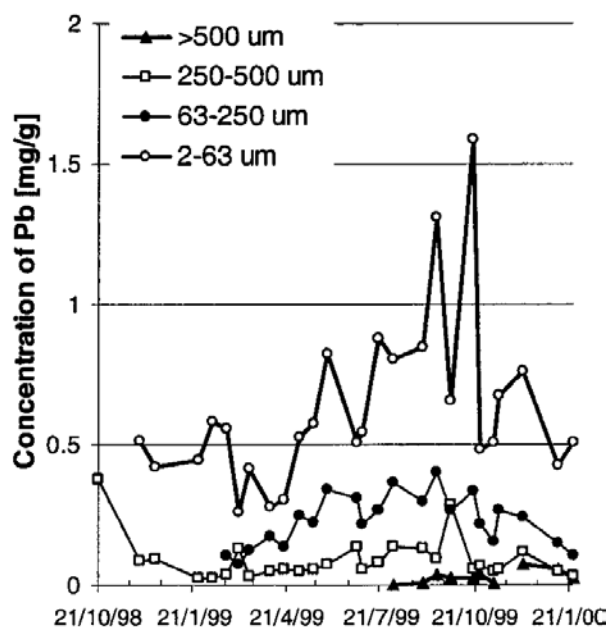
Tabelle 1: Verteilung der Feststoffe und Blei auf Kornklassen im Straßenabfluss in Prozent nach (Hahn und Xanthopoulos 1993) aus Welker (2004, S. 131)

Kornklasse	AFS	Blei
< 6 µm	18	20
6-60 µm	22	75
60-150 µm	3	5
> 150 µm	57	0

Nach Huber et al. (2016) ergeben sich als wesentliche Ursachen für Bleibelastungen über Reifen, Bremsen und früherem Einsatz von bleihaltigem Benzin. Messungen zeigen, dass es zu signifikanten Blei-Konzentrationen kommen kann, jedoch insgesamt die Konzentrationsentwicklung durch immissionsseitige Vorgaben (wie z.B. Technische Anleitung Luft) und die Substitution bleihaltiger Produkte (z.B. Benzin) rückläufig ist. Während die gemittelte Konzentration von Blei in den 1980er Jahren bei 252 µg/l lag, betrug der Wert im Jahr 2000 nur noch 18 µg/l (Huber et al. 2016, S. 910).



(a) Position D



(b) Position C

Abbildung 2: Konzentration von Blei in verschiedenen Kornfraktionen an Position D (neben dem Bordstein) und Position C (0,75 m vom Randstein entfernt) (Deletic und Orr 2005, S. 55)

Abbildung 2 zeigt die Konzentration von Blei im Straßenabfluss differenziert nach Korngrößenklassen über die Zeit. Diagramm (a) stellt dabei die Konzentration an einer Position direkt neben dem Bordstein (Position D) dar, während das Diagramm (b) die Konzentration einer Probe von einer 0,75 m entfernten Position (Position C) beschreibt. Bei Betrachtung der Korngrößen 2- 63 μm scheint es eine saisonale Beeinflussung in der Bleikonzentration zu geben, welche sich bei beiden Diagrammen in einem Peak im Spätsommer (Juli bis September) äußert und in ein Minimum im Spätwinter mündet – vor allem während der Zeit der winterlichen Salzstreuung. Die Konzentrationsverteilungen hätten nicht durch Verkehrsbelastungen verursacht werden können, da im Sommer weniger Autos täglich benutzt worden sind als im Winter. Die Konzentrationen sind am höchsten, wenn die Menge an verfügbarem Sediment am niedrigsten ist und umgekehrt, was die ungleichmäßige Verteilung der schadstoffbeladenen Sedimente erklären kann. Wetterbedingungen können die Löslichkeit von Metallen beeinflussen. Außerdem führen die Straßenenteisungssalze zur verstärkten Löslichkeit der Metalle, wodurch die Menge der partikulären Metalle im Niederschlagsabfluss abnehmen kann. Das Diagramm zu Position D zeigt insgesamt 1,5 – 3- mal höhere Werte als Diagramm (b), jedoch tendenziell ähnliche Muster wie Diagramm (b). (Deletic und Orr 2005, S. 54)

Innerhalb eines Monitorings vom Umweltbundesamt im Jahre 2007 konnte gezeigt werden, dass Blei eine hohe Affinität zu Gewässerschwebstoffen zeigt. Die partikulär gebundenen Bleianteile machen circa 90% der Gesamtbleibelastung aus (Busch et al. 2007, S. 99–102). Eine von Viklander geführte Studie zeigt, dass in Straßenabflüssen Blei bei zunehmender Partikelgröße in stetig abnehmender Konzentration vorliegt (Viklander 1998, S. 764).

Für Blei ist es einleuchtend, AFS63 als neue Referenzgröße einzuführen, da für diese Korngrößenfraktion vergleichsweise zu anderen Fraktionen deutlich die höchsten Blei-Konzentrationen vorliegen. Die Konzentration von Blei im Gewässer hat sich in den letzten Jahren erheblich verringert. Es ist an dieser

Stelle kritisch zu hinterfragen, inwiefern Blei noch eine belastend-relevante Größe für ein Gewässer darstellt, wenn Blei durch etliche Präventionsmaßnahmen nur sehr erschwert in den Wasserkreislauf gelangt.

Zusammenfassung

Insgesamt ist die allgemein berichtete Neigung der organischen und anorganischen Schadstoffe, sich vorrangig an die Feinfraktionen der Feststoffe zu binden, zu erkennen. Durch Studien und Monitoringprogramme ist die große Relevanz vom neu eingeführten Parameter AFS63 für die Beschreibung von Schadstoffen im Niederschlagsabfluss ersichtlich. Bislang wird in Nachweisen mit dem Parameter CSB gearbeitet. Der CSB fungiert als eine gebündelte allgemeine Kenngröße für die Gewässerverschmutzung durch die eingetragenen Schmutz- und Schadstoffe. Mit Einführung einer neuen Nachweisgröße AFS63 kann die Umweltrelevanz von Schadstoffen, die sich gehäuft an den feinen Kornfraktionen binden, gezeigt werden. Auch die für die in dieser Arbeit betrachteten Metalle wie Kupfer, Zink und Blei sind relativ hohe Belastungen an feinen Partikeln nachgewiesen worden. Der neue Parameter berücksichtigt dabei gezielt die akkumulierende Wirkung stofflicher Belastungen, die durch Stoffe wie Schwermetalle und schädliche organische Schadstoffe hervorgerufen wird. Um diese Wirkung mit einzubeziehen, soll neben den bereits etablierten Stoffgruppen wie CSB und BSB₅ eine neue Größe eingeführt werden.

Der Schadstoff muss erst ins Gewässer gelangen, um seine beeinträchtigende Wirkung zu entfalten. Mit der Abscheidung von Feststoffen ist ein anteiliger Rückhalt der daran angehafter Schadstoffe verbunden. Es muss also geprüft werden, wie gut der AFS63-Rückhalt bestehender Behandlungsanlagen ist, auch im Hinblick der Partikelgröße.

Trotz der Affinität der Schadstoffe zur Bindung an feinen Partikeln sind gewisse Unsicherheiten bei der Beschreibung mit dem Parameter AFS63 vorhanden. Die hier betrachteten organischen Schadstoffe und Schwermetalle sorbieren abhängig von den jeweiligen Studien zu unterschiedlichen Anteilen an den feinen Partikeln. Die Schadstoffe kommen zwar in den Feinfraktionen vermehrt vor, sind aber auch in gelöster Form oder an größeren Fraktionen gebunden vorhanden. Dieser Anteil wird bei Beschreibung der Schadstoffe mit dem AFS63-Parameter nicht berücksichtigt. Für die Stoffgruppe der organischen Schadstoffe lässt sich ein AFS63-Anteil von ca. 40 % bis 60 % annehmen. Die übrigen 60 bzw. 40 % an Schadstoffen werden nicht abgedeckt. Ähnlich verhält es sich bei Schwermetallen: Hier liegt die Spannweite an partikulär gebundenen Schadstoffen von 30 bis 90 %. Zum einen ist die Spannweite sehr groß, welche auf die unterschiedlichen Bindungsaffinitäten von Schwermetallen an AFS63 hinweist. Diese große Spanne an Werten resultiert zudem aus unterschiedlichen Studien mit verschiedenen Randbedingungen, die die Messergebnisse maßgeblich beeinflussen. Zum anderen ist damit die Unsicherheit, Schwermetalle pauschal mit AFS63 zu beschreiben, sichtbar. Im Hinblick auf den Summencharakter des AFS63-Parameters werden diese Unsicherheiten als gering betrachtet.

4. Arbeitsblatt DWA-A 102/ BWK- A3

Das technische Regelwerk für Misch- und Niederschlagswassereinleitungen wurde gemeinsam von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall (DWA) und dem Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) verfasst. Das Ergebnis der Bearbeitung ist das Arbeitsblatt DWA-A 102/ BWK-A 3, welches in Teil A und Teil B eingeteilt ist.

Mit diesem Arbeitsblatt soll eine inhaltlich koordinierte Bearbeitung der Regelungen erfolgen, mit der Emissionen und Immissionen an Schnittstellen aufeinander abgestimmt betrachtet werden können (Schaaf 2016). Überschneidende Erfordernisse sollen eindeutig zugewiesen, die Regelungsbereiche beider Teile des Arbeitsblattes formell und inhaltlich abgestimmt sowie die getroffenen Regelungen wechselseitig kompatibel formuliert werden (DWA 2016, S. 3). Dadurch soll der von der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) und dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) geforderte kombinierte Ansatz aus Emissions- und Immissionsbetrachtung für die Beurteilung der niederschlagsbedingten Einleitungen vorliegen (DWA 2016, S. 125).

4.1. DWA-A 102 - Teil A

Der Teil A, welcher durch die DWA bearbeitet worden ist, gibt emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen für Niederschlagsabflüsse in Siedlungen vor.

4.1.1. Überblick

Mit Teil A des neuen Regelwerks werden die nachfolgenden systembezogenen Regeln der DWA überarbeitet:

- Arbeitsblatt ATV-A 128 „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen“
- Merkblatt ATV-DVWK-M 177 „Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen – Erläuterungen und Beispiele“
- Merkblatt DWA-M 153 „Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser“

Während das ATV-A 128 mit dem ATV-DVWK-M 177 Regelungen zur Mischwasserbehandlung enthält, werden im DWA-M 153 Regelungen zum Umgang mit Niederschlagsabflüssen in modifizierten Entwässerungssystemen oder in Trenngebieten erläutert. Es werden Zielgrößen zum lokalen Wasserhaushalt definiert und die stofflichen Belastungen der Abflüsse mittels der Zielgröße AFS63 bewertet. Wegen oben beschriebener Fakten (siehe Kapitel 3) und der Berücksichtigung der akkumulierenden Wirkung stofflicher Belastungen wird der Fokus im DWA-A 102 auf die Größe AFS63 gelegt. Kriterien zur Begrenzung stofflicher Emissionen werden festgehalten und Maßnahmen bzw. Anlagen zur Regenwasserbehandlung vorgeschlagen.

4.1.2. Eingangsgrößen

Um eine solide Betrachtungsgrundlage zur Größe und Beschaffenheit des Niederschlagsabflusses zu erreichen, ist es notwendig, eine möglichst genaue Flächenermittlung mit dem Abfluss beeinflussenden Merkmalen durchzuführen. Es ist ein angemessener Planungshorizont für Erweiterungsgebiete zugrunde zu legen.

Mit der Differenzierung nach „gering belastet, Kategorie I“, „mäßig belastet, Kategorie II“ und „hoch belastet, Kategorie III“ werden Abflüsse diverser Herkunftsflächen nach Belastungsklassen eingeteilt. Abhängig von der Herkunftsfläche sollen unterschiedlich abgestufte Frachtwerte des jährlichen Stoffabtrags von AFS63 angesetzt werden.

Niederschlagswasser aus Herkunftsflächen der Kategorie I, gering bzw. unbelastetes Niederschlagswasser, bedarf keiner Behandlung vor Einleitung ins Gewässer. In Tabelle 3 aus DWA-A 102/BWK-A3 Teil A werden bebaute oder befestigte Flächen nach ihrer Belastung für das Niederschlagswasser kategorisiert. Zur Kategorie I gehören demnach beispielsweise Fuß-, Rad- und Wohnwege, Dachflächen in Wohn- und Mischgebieten ohne Metalleindeckung, Terrassen- und Hofflächen, PKW-Parkplätze in Wohngebieten sowie Sport- und Freizeitanlagen. Niederschlagswasser aus Herkunftsflächen der Kategorie II ist als mäßig belastet einzustufen. Typische Herkunftsflächen sind dabei Straßen mit einer DTV über 2000, Hofflächen und PKW-Parkplätze in Misch-, Gewerbe- und Industriegebieten, Dachflächen in Gewerbe- und Industriegebieten, Dachflächen mit unbeschichteten Eindeckungen aus Kupfer, Zink und Blei sowie Straßen und Plätze mit starker Verschmutzung. Stark belastetes Niederschlagswasser von Herkunftsflächen der Kategorie III soll vor Einleitung ins Gewässer einer Behandlung zugeführt werden. Zu den hoch belasteten Flächen zählen Hofflächen und Straßen in Gewerbe- und Industriegebieten mit signifikanter Belastung aus Staubemissionen sowie Sonderflächen, z.B. LKW-Park- und Abstellflächen mit häufigem Fahrzeugwechsel. Gleisanlagen, Flächen, auf denen mit Jauche oder Gülle umgegangen wird und Start- und Landebahnen von Flughäfen gehören ebenfalls zur Kategorie III. In Tabelle 2 wird die Behandlungsbedürftigkeit des Niederschlagsabflusses in Abhängigkeit der Kategorien beschrieben. Im Arbeitsblatt DWA-A 102 findet sich eine näher erläuterte gruppierte Kategorisierung des Niederschlagsabflusses bebauter oder befestigter Flächen. Dabei wird die Gruppierung hinsichtlich der Flächennutzung bzw. des Flächentyps vorgenommen. (DWA 2010, S. 10; DWA 2016, S. 38).

Tabelle 2: Behandlungsbedürftigkeit von Niederschlagswasser (DWA 2016, S. 39)

Zielgewässer	Gering belastetes Niederschlagswasser (Kategorie I)	Mäßig belastetes Niederschlagswasser (Kategorie II)	Stark belastetes Niederschlagswasser (Kategorie III)
Oberflächengewässer	Einleitung ohne Behandlung möglich	Technische Behandlung erforderlich	
Grundwasser	Versickerung und ggf. Behandlung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 138		

4.1.3. Stoffliche Nachweisführung mittels AFS63

Die stofflichen Belastungsgrößen für AFS63 werden aus der Literatur abgeleitet. Das Spektrum an zu erwartenden Verschmutzungen in der Praxis für AFS wird in einem Diagramm mit Vertrauensbereich und Schwerpunktwert zusammengestellt (siehe Tabelle 3). Den Daten zum Stoffaufkommen wurde die Habilitationsschrift von Welker (2004) und der Abschlussbericht des DWA (2010) über die Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren zugrunde gelegt. Die aus dem Abschlussbericht abgeleiteten Versuchsergebnisse sind vorsichtig zu behandeln, da der Feinanteil der AFS nicht wie die Definition im Gelbdruck die Grenze bei $63\ \mu\text{m}$ setzt, sondern bei $200\ \mu\text{m}$ (DWA 2010, S. 3). Es wurde auf unterschiedliche Datenlagen zurückgegriffen, ohne eine statistische Auswertung der veröffentlichten Messdaten vorzunehmen. Alle verfügbaren Angaben über die Konzentration von AFS in einer Abflussart wurden bei der Zusammenstellung berücksichtigt. Daraus ist ein Spannweitenbereich abgeleitet worden, der von minimalen bis maximalen Konzentrationen reicht (siehe Abbildung 3, schwarzer Strich). Um die Konzentrationen trotz der äußerst unterschiedlichen Spannweiten miteinander vergleichen zu können, wird ein zusätzlicher engerer Konzentrations- bzw. Vertrauensbereich eingegrenzt (siehe Abbildung 3, hellrosa Balken), der nach subjektiver Einschätzung und nicht nach statistischen Kriterien festgelegt wurde. Durch Überprüfung der Messprogramme auf ihre qualitative Repräsentanz, Nichteinbezug von unklar dokumentierten Untersuchungsbedingungen und Ausschluss von besonderen ortsspezifischen Randbedingungen ergibt sich dieser subjektive Vertrauensbereich. Zahlreiche in der Literatur veröffentlichte Messprogramme wurden ausgewertet, wobei die betrachteten Werte aus unterschiedlichen Untersuchungen stammen (Einzelwerte, Stichproben, Mischproben, berechnete Mittelwerte, nur Maximalwerte, usw.). Im Ergebnis kann dann der Schwerpunktwert (siehe Abbildung 3, rotes Quadrat) definiert werden, der einen häufig anzutreffenden Konzentrationswert darstellen soll. Gerade beim Verkehrsflächen- und Mischflächenabfluss sind sehr große Spannweiten festzustellen. Dies liegt vor allem an der besonders hohen Heterogenität der Daten im Bereich der Straßenabflüsse und an den ortsspezifischen Merkmalen beim Mischflächenabfluss. (DWA 2010, S. 14)

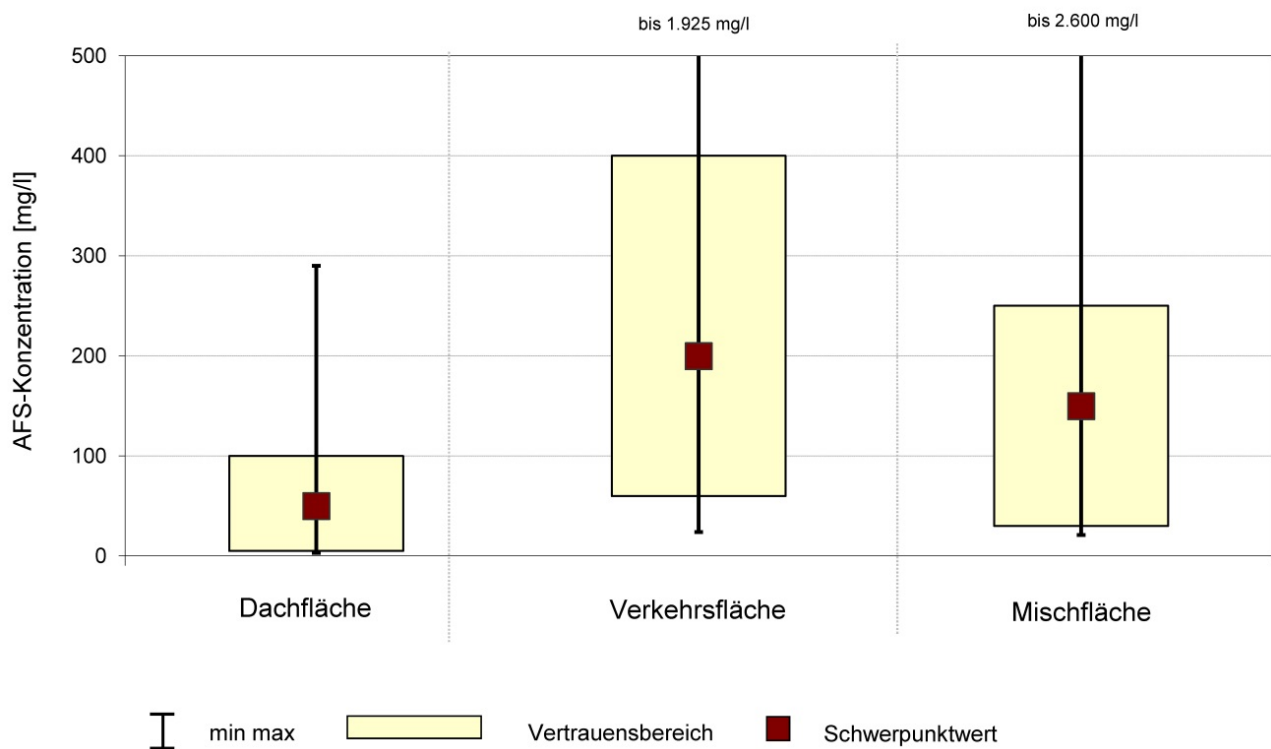


Abbildung 3: Aufkommen von abfiltrierbaren Stoffen (AFS) im Niederschlagsabfluss von Dach-, Verkehrs- und Mischflächen (DWA 2016, S. 34)

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass für Abbildung 3 eine breite, heterogene und unterschiedlich stark mit Unsicherheiten behaftete Datengrundlage vorhanden war. Dementsprechend ist die Spannweite der AFS-Konzentration auch sehr groß, sodass Unsicherheiten bei der Festlegung der Schwerpunktwerte auftreten. Dies ist insofern wichtig, da ausgehend von diesen subjektiv festgelegten Schwerpunktwerten der Feinanteil AFS63 abgeleitet wird.

Unter Einbezug von etlichen Messungen sind Schwerpunktwerte zum Feststoffaufkommen im Niederschlagsabfluss von Dach-, Verkehrs- und Mischflächen ermittelt worden, die die mittleren Konzentrationen im Jahresniederschlagsabfluss beschreiben (siehe Tabelle 3). Da in Dachflächenabflüssen wenige Grobpartikel zu erwarten sind, wird angenommen, dass der Gesamt-AFS dem feinen Anteil entspricht (DWA 2010, S. 22). Auch wenn die Korrosionsprodukte aus Metaldächern nicht immer gelöst vorliegen und die Korngrößen in Dachabflüssen dementsprechend nicht zwangsläufig unterhalb $63\ \mu\text{m}$ liegen müssen (Dierschke 2014, S. 21), wird die AFS63-Konzentration gleich der AFS-Konzentration gesetzt. Mischflächenabflüsse setzen sich aus Dach- und Verkehrsflächenabflüssen zusammen, weswegen davon ausgegangen wird, dass die AFS63-Konzentration in Verkehrsflächenabflüssen etwas höher ist als in Mischflächenabflüssen. Der Schwerpunktwert von Verkehrsflächenabfluss wurde mit vorhandenen Daten bezüglich des feinen AFS-Anteils in Straßenabflüssen ausgewertet. (DWA 2010, S. 22).

Tabelle 3: Orientierungswerte zum Stoffaufkommen von AFS und AFS63 in Abhängigkeit der Abflussart (DWA 2016, S. 35)

Abflussart	Abfiltrierbare Stoffe AFS (mg/l)	Feinanteil AFS63 (mg/l)
Dachabfluss	50	50
Verkehrsflächenabfluss	200	120
Mischflächenabfluss	150	85

Die Bewertung der Verschmutzung von Niederschlagsabflüssen erfolgt auf Grundlage dieser vorgegebenen Orientierungswerte. Ausgehend von den Orientierungswerten zum Stoffaufkommen werden für die AFS63 abgestufte Frachtwerte des jährlichen Stoffabtrags für die drei Belastungskategorien abgeleitet. Mithilfe des Kriteriums Flächennutzung können abgestufte Gruppierungen vorgenommen werden (siehe DWA 2016, S. 38–39). Den Rechnungen zum Stoffabtrag liegt ein Bezugslastfall zugrunde. Hierbei beträgt die Jahresniederschlagshöhe $h_{Na}=800$ mm/a, der Abflussbeiwert 0,7 und die Flächenanteile für Kategorie I 30 %, Kategorie II 60 % und Kategorie III 10 %. Die flächenspezifischen Stoffabträge $b_{R,a}$ werden im DWA-A 102 nicht explizit hergeleitet.

Tabelle 4: Rechenwerte des flächenspezifischen jährlichen Stoffabtrags $b_{R,a}$ für AFS63 der Belastungskategorien I bis III (DWA 2016, S. 40)

Kategorie	Flächenspezifischer Stoffabtrag $b_{R,a}$ für AFS63 in kg/(ha*a)
Kategorie I	280
Kategorie II	530
Kategorie III	760

Die angegebenen Frachtwerte in Tabelle 4 sind als rein rechnerische Werte zu erfassen und können nicht als Referenzwerte für einen messtechnischen Nachweis dienen. Die Werte sind als Orientierungshilfe mit Ermessensspielraum für ortsbezogene Bewertungen zu verstehen. Da befestigte Flächen der Kategorie I nach Tabelle 2 nicht behandlungsbedürftig sind, versteht sich der flächenspezifische Stoffabtrag der Belastungskategorie I in der Höhe von 280 kg/(ha*a) als zulässiger Frachtaustrag $b_{R,e,zul}$ für AFS63 zur Einleitung in Oberflächengewässer. Der maximal zulässige Frachtaustrag ist gemäß DWA-A 102 gewässerverträglich. Bei einer Überschreitung der flächenspezifischen Gesamtfracht vom zulässigen Frachtaustrag $b_{R,e,zul}$ sind Behandlungsmaßnahmen einzuleiten. Demzufolge müssen die Niederschlagsabflüsse aus den Flächen der Kategorie II und III zur Einhaltung des zulässigen Frachtaustrags in Oberflächengewässer behandelt werden.

Im Arbeitsblatt wird die emittierte Fracht, beschrieben über die Summe der Feinanteile der abfiltrierbaren Stoffe, als Nachweisgröße für Anforderungen an die Einleitung von Regenwetterabflüssen in Gewässer angeführt. Durch eine Vorberechnung der zulässigen modellspezifischen AFS63-Entlastungsfracht für ein fiktives Zentralbecken in einem Mischwassersystem ergibt sich eine AFS63-Jahresentlastungsfracht (kg/(ha*a)), welches als Zielgröße bei Bemessungsverfahren dient. Der Ansatz eines Zentralbeckens ist aus dem A 128 entnommen. Die Entlastungskenngrößen des realen Entwässerungssystems werden mit den Kenngrößen des Zentralbeckens verglichen. Im Rahmen dieses Arbeitsblattes ist der Nachweis zu führen, dass die entlastete Jahresfracht AFS63 als Frachtsumme aller

Einzelentlastungen im Einzugsgebiet einer Kläranlage den Wert aus der Vorberechnung mit dem Zentralbecken nicht überschreitet (DWA 2016, S. 79).

Im Nachweisverfahren sind zusätzlich bauwerksbezogene Nachweisgrößen auszuweisen: Das mittlere Mischungsverhältnis, Überlaufhäufigkeit, –dauer, Entlastungsabflusssumme, –fracht und –konzentration. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird auf die Entlastungsfracht von AFS63 fokussiert.

4.2. BWK-A 3 -Teil B

Der vom BWK bearbeitete Teil B des Arbeitsblattes DWA-A 102 betrachtet die immissionsbezogenen Bewertungen und Regelungen für Niederschlagsabflüsse in Oberflächengewässer unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse.

4.2.1. Überblick

Im Arbeitsblatt BWK-A 3 werden die Inhalte der bisherigen Merkblätter

- BWK-M 3 „Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse“ und
- BWK-M 7 „Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen“

aktualisiert und zusammengefasst. Das BWK-M 3 aus dem Jahre 2001 enthält die erste Handlungsanleitung für Immissionsbetrachtungen bei der Einleitung niederschlagsbedingter Abflüsse in Oberflächengewässer. Die Begründung und Ableitung immissionsorientierter Anforderungen sowie die vereinfachte Nachweisführung zur Einhaltung stofflicher und hydraulischer Zielsetzungen wurden als Kern des Merkblattes herausgearbeitet. Seither wurde das Merkblatt M 3 in 5 Auflagen fortgeschrieben. 2008 wurde mit dem BWK-M 7 die Methodik zur detaillierten Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen präzisiert und auf spezifische Regelungen für Gewässer mit besonderem Schutzbedürfnis wie beispielsweise Laichgewässer für Großsalmoniden, stehende Gewässer, Badegewässer und oberirdische Fließgewässer zur Trinkwassergewinnung eingegangen. Die überarbeiteten Inhalte der Merkblätter 3 und 7 werden zusammengeführt und die zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen aus der Anwendung dieser Merkblätter im neuen Arbeitsblatt BWK- A 3 einbezogen.

Das Arbeitsblatt BWK-A 3 - Teil B bietet eine Handlungsempfehlung zur Beurteilung der Wirkung von Niederschlagswassereinleitungen aus Kanalisationsnetzen des Misch- und Trennverfahrens auf oberirdische Fließgewässer durch eine Immissionsbetrachtung und zur Bewirtschaftung dieser Gewässer im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG 2009) sowie der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG 2000) (DWA 2016, S. 129). Es knüpft an die Emissionsregelungen des DWA-A 102 an.

4.2.2. Eingangsgrößen

Als Eingangsgröße ist die AFS63-Hintergrundbelastung zu nennen. In der Regel werden für den stofflichen Nachweis Standardvorgaben für die Gewässervorbelastung angesetzt, insofern keine Vorgaben aus abgestimmten Messprogrammen vorhanden sind. Als Standardvorgaben gelten die Orientierungswerte des RaKon II B-Papiers der LAWA (LAWA 2014), aus denen sich die spezifische Vorbelastungsfracht b_v von $4.800 \text{ kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ergibt. Hierfür wird ein Bezugslastfall zugrunde gelegt, der durch eine Jahresniederschlagshöhe von 800 mm und eine mittlere jährliche Verdunstungsrate von 60 % charakterisiert wird. Die Grenze zwischen einem guten und mäßigen Zustand für die Gewässer wird nach dem RaKon II B-Papier der LAWA bei 15 mg/l festgelegt, woraus sich die Vorbelastungsfracht errechnen lässt. Weiterhin gehen die entlasteten Schmutzfrachten aus der Siedlungsentwässerung in die Berechnung ein.

4.2.3. Stoffliche Nachweisführung mittels AFS63

Die stoffliche Nachweisführung kann durch eine Relevanzprüfung, rechnerisch vereinfacht, rechnerisch detailliert oder mittels biologischer Untersuchungen erfolgen. Der biologische Nachweis kann nur für unveränderte Situationen durchgeführt werden. Wegen seiner Aussagekraft über den momentanen Zustand des Gewässers besitzt der biologische Nachweis keine Prognosefähigkeit. Im Rahmen dieser Arbeit soll explizit auf die rechnerisch-vereinfachte und detaillierte Nachweisführung unter Berücksichtigung der AFS63-Belastung eingegangen werden. Mit den Nachweisen soll die mitgeführte Fracht in der fließenden Welle begrenzt werden, um einen guten ökologischen Zustand des Gewässers nicht zu gefährden.

Vereinfachter stofflicher Nachweis

Liegt kein detaillierter Schmutzfrachtnachweis gemäß DWA-A 102 vor, sind bestimmte Fälle zu unterscheiden. Die Fälle werden eingeteilt in Direkteinleitungen aus Trennsystemen, Einleitungen aus Regenklärbecken, Regenüberlaufbecken, Stauraumkanälen, Regenüberläufen und Retentionsbodenfiltern. Da in dieser Arbeit der detaillierte Schmutzfrachtnachweis durchgeführt wird (siehe 5.2), wird nicht näher auf die Ermittlung der AFS63-Entlastungsfrachten bei einem vereinfachten Nachweis eingegangen. Sämtliche Berechnungen der Frachten für diese Fälle können aus Kapitel 6.5.3.2 des BWK-A 3 entnommen werden. Der vereinfachten Nachweisführung liegt die Annahme zugrunde, dass die gesamte transportierte natürliche Feststofffracht der Fraktion AFS63 entspricht, wodurch der Anteil durch Falllaub und Pollen vernachlässigt wird. Die Vereinfachung ist kritisch zu hinterfragen, da der AFS63-Anteil an Pollen bei normalem Baumbestand im Jahresmittel etwa $35,5 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ beträgt (Dierschke 2014, S. 77).

Durch bisherige Ergebnisse des WRRL-konformen Gewässermonitoring konnte eine Grenzfracht bestimmt werden, welche den guten Zustand des Gewässers nicht gefährdet. Die Grenze zwischen gutem und mäßigem Zustand liegt bei einer AFS-Konzentration von $15 \text{ mg}/(\text{l} \cdot \text{a})$. Dabei wird der gute Zustand eines Fließgewässers nicht gefährdet, solange die AFS-Konzentration $30 \text{ mg}/(\text{l} \cdot \text{a})$ nicht überschritten wird. Damit errechnet sich für den Bezugslastfall mit mittleren deutschen Verhältnissen, welcher von einer Niederschlagshöhe h_{Na} mit 800 mm und einer mittleren jährlichen Verdunstungsrate von 60% für gute Gewässer ausgeht, eine spezifische kritische Grenzfracht b_G von $9.600 \text{ kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$. Die resultierende Gewässerfracht B_G (kg/a) setzt sich additiv aus der Gewässervorbelastungsfracht,

Einleitungsfracht und der Summe der Einleitungsfrachten aller oberstrom im Nachweisraum gelegenen Einleitungen zusammen. Die spezifische Vorbelastungsfracht b_v wird mit $4.800 \text{ kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ vorgegeben (siehe 4.2.2). Wenn der Quotient aus der resultierenden Gewässerfracht B_G und der Größe des oberirdischen Einzugsgebietes die zuvor ermittelte Grenzfracht von $9.600 \text{ kg}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ bzw. $96 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ unterschreitet, ist der stoffliche Nachweis für die AFS63-Fracht erbracht.

Detaillierter stofflicher Nachweis

Der detaillierte Nachweis wird erforderlich, wenn der vereinfachte Nachweis nicht erfolgreich durchgeführt werden kann oder die Umsetzung erforderlicher Maßnahmen nicht vertretbar oder möglich ist. Basierend auf den Ergebnissen von Langzeitsimulationen werden die einleitungsbedingten Stoffkonzentrationen und -dosen mit einem erweiterten Schmutzfrachtmodell nachgewiesen. Siedlungsabflüsse und die Gewässervorbelastung sind die Belastungsgrößen der Nachweisführung. Es werden für jeden Nachweisort Frachtbilanzen für AFS erstellt. Dabei wird jede Einleitstelle und das Ende des Nachweisraums als Nachweisort definiert. Der detaillierte stoffliche Nachweis gilt als erbracht, wenn die Nachweisgröße AFS63 an keinem Nachweisort die Grenzwerte überschreitet. Für die Feststoffe gelten dieselben Grenzwerte wie aus dem vereinfachten Nachweis.

5. Praktische Anwendung auf ein reales Einzugsgebiet

An die sogenannten abfiltrierbaren Stoffe (AFS) wird eine Vielzahl gewässerrelevanter Schadstoffe transportiert. In Kapitel 2 und 3 wurden das Vorkommen und die Zusammensetzung der AFS sowie der AFS63 beschrieben. Letztere stellen in dem seit Oktober 2016 vorliegenden Arbeitsblatt DWA-A 102 die neue Referenzgröße für emissionsbezogene Bewertungen von Regenwetterabflüssen in Siedlungen dar. Entsprechend wurden im ebenfalls seit Oktober 2016 vorliegenden Arbeitsblatt BWK-A 3 unter anderem auch Immissionsgrenzwerte für AFS63 in Gewässern definiert.

Eine theoretische Analyse und Beschreibung der in beiden Arbeitsblättern definierten Eingangsgrößen und Nachweisführungen in Bezug auf AFS63 wurde in den Kapiteln 4.1 und 4.2 dargestellt. Während beim Immissionsnachweis gemäß BWK-A 3 bisherige Prüfgrößen wie z.B. kritische Sauerstoffdefizite oder Ammoniakkonzentrationen beibehalten werden und lediglich um eine Jahresgrenzfracht für AFS63 ergänzt werden, wurde der Emissionsnachweis nahezu vollständig auf den neuen Referenzparameter AFS63 umgestellt.

Da das neue Regelwerk momentan noch in einer Gelbdruckfassung vorliegt, fehlen praktische Anwendungserfahrungen der Nachweisführungen an realen Systemen sowohl aus Emissionssicht gemäß DWA-A 102 als auch aus Immissionssicht gemäß BWK-A 3. Beispielrechnungen im DWA-A 102 werden an einem fiktiven Fallbeispiel in Anlage D demonstriert, während im BWK-A 3 vollständig ein Anwendungsbeispiel fehlt. Im Anhang 6 vom BWK-A3 soll ein Berechnungsbeispiel erst im Weißdruck erscheinen. Im Hinblick auf die deutlichen Veränderungen der Nachweisführung soll daher in dieser Arbeit sowohl der Emissionsnachweis gemäß DWA-A 102 als auch der Immissionsnachweis gemäß BWK-A 3 an einem realen Praxisbeispiel erprobt werden.

Der Emissionsnachweis wird mit dem Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI 6.1 berechnet. SMUSI bezeichnet ein Schmutzfrachtsimulationsmodell, welches ein flächen- und komponentendetailliertes hydrologisch-deterministisches Niederschlags-Abfluss- und Stofftransport-Modell ist. Durch Langzeitsimulationen werden die maßgebenden Kenngrößen zur gewässerorientierten Beurteilung der Wirkung von Entlastungsbauwerken in Entwässerungsnetzen berechnet (Mehler und Leichtfuß 1998, S. 3).

Hierdurch ergeben sich mehrere Anforderungen an das Einzugsgebiet für das Praxisbeispiel:

- Bestehender SMUSI-Nachweis als Vergleich (siehe 5.2.3)
- Gute Datengrundlage hinsichtlich der versiegelten Flächen und Flächennutzung, Speicher- und Entlastungsbauwerke, des Kanalnetzes, etc.
- Beschränkte Größe sowohl des Siedlungsbereichs für den Emissionsnachweis als auch des naturnahen Einzugsgebietes für den Immissionsnachweis

5.1. Auswahl eines Projektgebietes

Zur Anwendung der Emissions- und Immissionsnachweise wurde die Stadt Bad Homburg vor der Höhe ausgewählt. Da die Bearbeitung des gesamten Einzugsgebietes der Kläranlage Bad Homburg den Rahmen einer Bachelorthesis sprengen würde, war die Eingrenzung auf ein kleineres Teilgebiet notwendig. Wie in Kapitel 4.1.3 dargestellt, sind gemäß DWA-A 102 für verschiedene Flächen unterschiedliche AFS63-Belastungen anzusetzen. Das Einzugsgebiet der Stadt Bad Homburg wurde daher analysiert, um ein Teileinzugsgebiet zu identifizieren, dass von der Größenordnung eine Bearbeitung im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermöglicht und eine möglichst große Varianz im Hinblick auf die AFS63-Belastungen aufweist.

Bei der Analyse zeigte sich der Stadtteil Kirdorf mit dem Einzugsgebiet des Kirdorfer Bachs als besonders geeignet. Kirdorf ist aufgrund zweier Bundesstraßen und einigen hochfrequentierten Parkplätzen gut für eine praktische Anwendung der Nachweisführung geeignet, da diese Flächen mit einer maximalen Stoffabtragsfracht in Höhe von $760 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ in die Berechnungen eingehen. Das Projektgebiet Kirdorf wird bis zum Regenüberlaufbecken I Schwedenpfad (B02) betrachtet, da vor einer Kläranlage ein Becken vorgeschaltet sein muss. Der für die Berechnung notwendige Drosselabfluss ist bei Regenüberläufen zu hoch, sodass das Ergebnis verfälscht worden wäre. Daher musste das Betrachtungsgebiet direkt an einem Becken abgegrenzt werden, um eine fiktive Kläranlage an dieses Gebiet anzuschließen. Das ursprüngliche Einzugsgebiet des Gesamtprojekts und das nun betrachtete Teileinzugsgebiet Kirdorf findet sich als Karte im Anhang A.1.

Der Kirdorfer Bach trägt die Gewässerkennnummer 248926 und wird als Fließgewässertyp 5 charakterisiert. Gewässer des Typs 5 zeichnen sich als grobmaterialreiche, silikatische Mittelgebirgsbäche aus (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie). Er ist ein Quellbach des Eschbaches, in welchen er nach circa 8,5 km bei Gonzenheim zusammen mit dem Dornbach mündet.

5.2. Emissionsnachweis

In diesem Kapitel wird der Emissionsnachweis für den Kirdorfer Bach durchgeführt. Dazu wird die vorhandene Datengrundlage aufgrund vorheriger Projekte in Bad Homburg aufgezeigt. Die Methodik mit ArcGIS zur Ermittlung der Flächen und der darauffolgende Aufbau des SMUSI-Datensatzes wird erklärt.

5.2.1. Datengrundlage

Im Ingenieurbüro SYDRO Consult GmbH ist für das Einzugsgebiet der Kläranlage Bad Homburg v. d. Höhe bereits der Datensatz für die Schmutzfrachtsimulation vorhanden. Der Datensatz kann in dieser Arbeit benutzt werden, da dieser die Emissionsanforderungen gemäß SMUSI-Richtlinie erfüllt hat. Gemäß Kapitel 11 des DWA-A 102 sind Schmutzfrachtmodelle geeignet und zulässig, da zum Nachweis von Mischwassersystemen, wie es in dieser Arbeit vorliegt, Schmutzfrachtsimulationen anzuwenden sind. Außerdem bedarf es laut Kapitel 10.4.4.2 der Anwendung von Nachweisverfahren in Form von

Schmutzfrachtsimulationen, wenn die Bedingungen für die Anwendbarkeit des vereinfachten Aufteilungsverfahrens überschritten sind. Dies ist im weiteren Verlauf des Nachweisverfahrens zu prüfen. Die Schmutzfrachtsimulation dient als relativer Vergleich mit dem methodischen Ansatz eines fiktiven Zentralbeckens, welches in 4.1.3 beschrieben wurde. Daher kann das Schmutzfrachtmodell SMUSI für diesen Nachweis verwendet werden.

Die Nachweisführungen gemäß DWA-A 102 sowie BWK-A 3 erforderten maßgebliche Änderungen und Ergänzungen des Datensatzes. Es wird mit dem Geoinformationssystemprodukt ArcGIS gearbeitet. Sämtliche Misch-, Trenn- und Außengebiete werden in eine ArcMap geladen, um sie nachfolgend hinsichtlich ihres Flächentyps, wie in 4.1.3 beschrieben, zu schneiden und kategorisieren.

In Kapitel 7 des Regelwerks DWA-A 102 wird angemerkt, bei der Flächenermittlung realistische Ansätze für Neuerschließungen eines Projektgebiets zu treffen (DWA 2016, S. 28). Die realistischen Ansätze werden mit den geplanten Erweiterungsflächen als ENDAUSBAU-Zustand betrachtet. Der ENDAUSBAU-Zustand berücksichtigt die wesentlichen Baumaßnahmen im Kanalnetz sowie die aktuellen Prognosen der Industrie-, Gewerbe- und Einwohnerentwicklung. Die Zeitspanne für den ENDAUSBAU-Zustand umfasst die nächsten 10 Jahre. In diesem Sinne wird für die Berechnung der Datensatz zum optimierten ENDAUSBAU-Zustand von Bad Homburg zugrunde gelegt: OPT2025A. In diesem OPT2025-Zustand wurde der ENDAUSBAU-Zustand mit Berücksichtigung der Erweiterungsflächen sowie weiterer Änderungen bzgl. der Regenentlastungsanlagen optimiert. (Magistrat der Stadt Bad Homburg. 2015, S. 8)

Es wurden folgende Daten zur Bearbeitung benutzt:

- Systemlogik des Einzugsgebiets Bad Homburg v. d. Höhe
- Topographische Karte DTK81
- Luftbilder vom WMS-Server Hessen
- Google Maps
- ASCII-Datensätze vom ursprünglichen Projekt Bad Homburg: OPT2025A
- WRRRL-Viewer, einzusehen unter <http://wrrrl.hessen.de>

5.2.2. GIS-Unterstützte Methodik

Auf Basis vorhandener Misch-, Trenn- und Außengebiete soll die Flächentypisierung erfolgen. Nachfolgend werden die Gründe nach Tabelle 3 aus (DWA 2016, S. 38–39) für die Aufteilung der Misch-, Trenn und Außengebiete aufgezeigt (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Flächengruppierung der Misch-, Trenn- und Außengebiete gemäß DWA 2016

Gebietsbezeichnung	Gruppierung
A08K2	L2: Landwirtschaftliche Fläche, die nicht zu L3 gehören
F04	W1: Freizeitanlage/ Sportplatz
F04K2	V2a: Parkplatz einer Freizeitanlage mit mäßiger Frequentierung
F04K3	V3: B456 (Saalburgchaussee)
F05A	W1 & V1: Wohngebiet
F05B	W1 & V1: Wohngebiet
F06	W1 & V1: Wohngebiet
F06K2	V2a: Stellplätze einer Gesamtschule mit mäßiger Frequentierung durch Autoabholung
F06K3	V3: Parkplätze der Supermärkte mit hoher Frequentierung
F07	W1 & V1: Wohngebiet
F07K2	V2a: Parkplätze des Bürgerhauses mit mäßiger Frequentierung
F07K3	V3: Parkplätze eines Autoverleihs und Fitnessclubs mit hoher Frequentierung
F08	W1 & V1: Wohngebiet
F08K2	M2: Dachfläche der Kirche mit Metalleindeckung >20 m ² V2a: Parkplätze der Kirche mit mäßiger Frequentierung
F09	W1 & V1: Wohngebiet
F09K2	W2: Einkaufsstrassen im Kirdorfer Ortskern V2b: Parkplätze der Einkaufsmärkte mit mittlerer Frequentierung
F10	W1 & V1: Wohngebiet mit Sportanlage
F10K2	V2a: Parkplätze von Einkaufsläden und mit mäßiger Frequentierung, Verkehrsflächen im Mischgebiet mit geringem KFZ-Verkehr (DTV<300) V2b: Parkplätze der Volkshochschule und Klinik mit mittlerer Frequentierung
F10K3	V3: Parkplätze eines Supermarktes mit hoher Frequentierung, überörtliche Straße (Höllsteinstraße)
F11	W1 & V1: Wohngebiet
F11K2	W2: Einkaufsstraße und Marktplatz
F11K3	V3: Parkhaus und –deck mit hoher Frequentierung bei Einkaufsstraße
T07	W1: Wohngebiet

Google Maps wird zum Abgleich der Bilder benutzt und um die jeweiligen Straßen und Gebäude zu identifizieren.

Abbildung 4 zeigt die komplette Flächentypisierung für das Projektgebiet Kirdorf mit seinen Entlastungsbauwerken B01, R02 und B02 (grüne Punkte). Es ist auf den ersten Blick zu sehen, dass ein sehr großer Anteil der Kategorie 1 (grün) zugeordnet wurde. Dies ist auf den sehr hohen Wohngebietsanteil in Kirdorf zurückzuführen. Aus Emissionssicht sind die Niederschlagsabflüsse aus Wohngebieten bei Einleitung in Fließgewässer nicht behandlungsbedürftig (DWA 2016, S. 39). Flächen der Kategorie 2 sind gelb markiert. Sie sind unter anderem wegen der landwirtschaftlichen Nutzung und mäßiger Frequentierung auf Parkplätzen bzw. Einkaufsstrassen dieser Kategorie zugeordnet worden. Weiterhin lassen sich die Flächen der Kategorie 3 in Rot erkennen: Es sind Streckenabschnitte der Bundesstraßen, die durch Kirdorf führen, und einige Parkplätze mit hoher Frequentierung. Diese sind bei großen Thermen, Kliniken und Einkaufszentren im Ortskern Kirdorfs zu finden. Mit der Eingrenzung des Stadtteils Kirdorf ist ein Teilgebiet ausgesucht worden, der im Vergleich zu den anderen Gebietsteilen mit deutlich mehr Flächen mit maximalem AFS63-Schmutzpotential in die Berechnung eingeht.

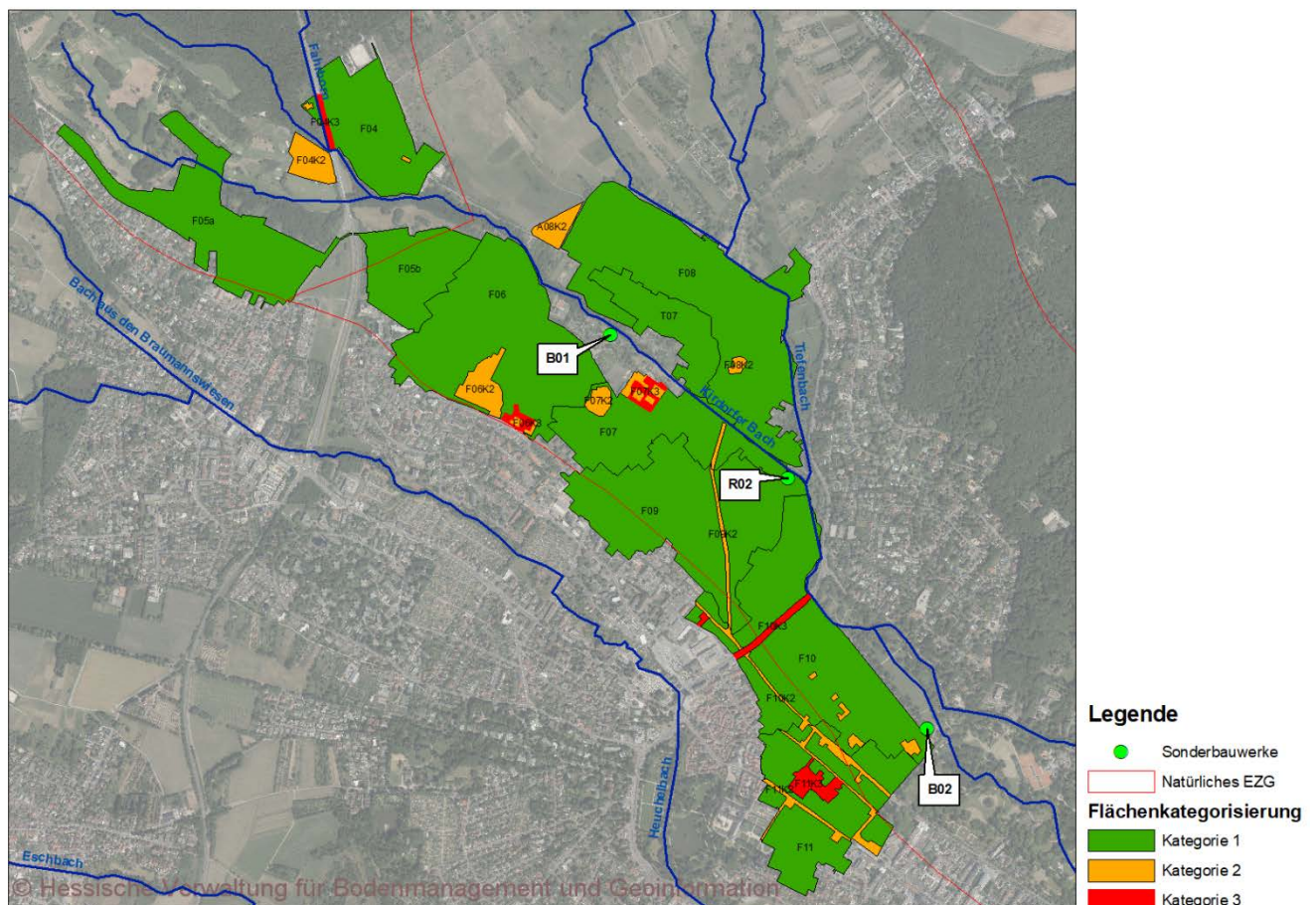


Abbildung 4: Flächenkategorisierung für Projektgebiet Kirdorf

Das Entwässerungssystem Kirdorf wird in Abbildung 5 in Form eines Systemplans dargestellt.

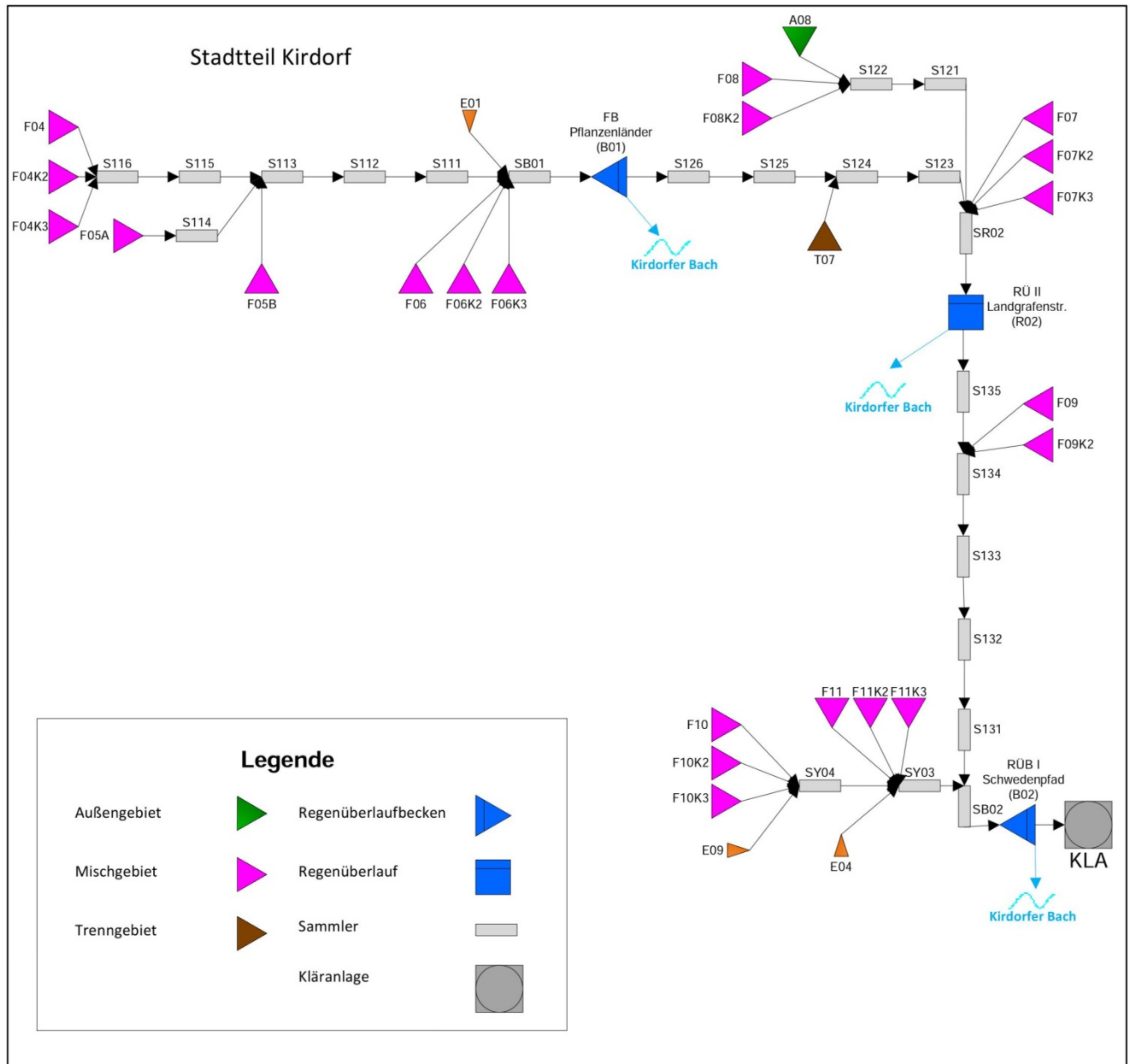


Abbildung 5: Systemplan „Kirdorf“

5.2.3. Vorgehen mithilfe des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI

Im vorliegenden Beispiel wurde das Nachweisverfahren mit dem Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI auf das ausgewählte Teilsystem angewandt.

Es besteht die Möglichkeit, die Kenngrößen für das fiktive Zentralbecken gemäß A 128 in der Ergebnisdatei ausgeben zu lassen. Mit der Ausgabeoption der A 128-Kenngrößen können Volumina, CSB-Frachten und Mischungsverhältnisse bestimmt werden. Die Potentialwerte für AFS63 können nicht direkt in die Spalte von AFS eingetragen werden. Da im DWA-A 102 die zulässige AFS63-Entlastungsfracht für ein fiktives Zentralbecken gefordert ist statt der CSB-Fracht, werden die Werte für AFS63 in allen betroffenen Dateien der Spalte für CSB zugeordnet. Grund dafür ist die Ausgabeoption der A 128-Kenngrößen. Bei den A 128-Kenngrößen werden lediglich die CSB-Frachten für das System

ausgegeben. Damit das Simulationsprogramm die gesuchten AFS63-Frachten ausgibt, war es notwendig, die Spalten zu vertauschen. Durch diese Vorgehensweise kann in der Ergebnisdatei in der Spalte für CSB-Frachten die Jahresentlastungsfracht für AFS63 entnommen werden. Prinzipiell sind zwei Datensätze aufzubauen: Ein Datensatz beschreibt ein fiktives System, in welchem sämtliche Entlastungsbauwerke entnommen und durch ein fiktives Zentralbecken (BFIK) direkt vor der Kläranlage als Durchlaufbecken im Nebenschluss ersetzt wird. Dieser Datensatz bestimmt die modellabhängige Grenzfracht. Der zweite Datensatz bildet das reale Entwässerungssystem Kirdorf mit allen vorhandenen Speicher- und Entlastungsbauwerken ab. Die dabei ermittelte Fracht muss kleiner als die modellabhängige Grenzfracht sein, die zuvor mit dem fiktiven System errechnet wurde, um den Emissionsnachweis zu erbringen. Wie weiter oben erwähnt, können diese Frachten mit der Ausgabeoption „A 128“ für den Benutzer übersichtlich aus der Ergebnisdatei entnommen werden.

Um den Anforderungen des neuen Regelwerks gerecht zu werden, sind an den Originaldaten gewisse Änderungen vorzunehmen. Die Änderungen betreffen die Systemlogik, Schmutzstoffkonzentrationen, Becken, versiegelten Flächen sowie die allgemeinen Angaben. Es ist zu erwähnen, dass diese Anpassungen umständlich sind. Die Einführung des DWA-A 102 würde entsprechende Anpassungen an der SMUSI erforderlich machen.

Mit der Systemlogik (*.SYS-Datei) werden Verknüpfungen der einzelnen Systemobjekte über Zulauf- und Ablaufbeziehungen untereinander dargestellt. Durch die Definition neuer Systemobjekte ergeben sich dementsprechend in der Systemlogik Änderungen bezüglich der Zuläufe und Abläufe von Sammlern. Sammler sind in der Modellierung berücksichtigte Transportelemente in der Kanalisation (Reußner und Muschalla 2012b, S. 33). Die neuen Flächen müssen dementsprechend in der *.SYS-Datei auf die Sammler verwiesen werden. Dabei ist zu beachten, dass die neuen Flächentypen trotzdem in den gleichen Sammler einleiten wie die Mischgebiete in der Originaldatei. Beispielsweise leitet im Originaldatensatz das F11-Mischgebiet in den Sammler SB02 ein, weswegen auch die Abflüsse der neuen Flächen von F11 wie das F11K2 und F11K3 in den gleichen Sammler eingeleitet werden. Für das fiktive System werden hier alle Bauwerke aus der Systemlogik entfernt und ein Netz bestehend aus den angeschlossenen Misch-, Trenngebieten und Direkteinleitern aufgebaut. Die Sammler des realen Systems leiten zusätzlich in die Bauwerke ein.

Die in GIS aufgeteilten Mischgebietsflächen müssen in der SMZ.-Datei nachgezogen werden. In der *.SMZ-Datei werden die Schmutzwasserabflusskonzentrationen von den Verschmutzungskenngrößen AFS, BSB5, CSB, TOC, NH₄-N und PO₄-P festgelegt. Die Werte werden aus dem Original-Datensatz „OPT2025A“ übernommen (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Schmutzwasserkonzentrationen für das Projektgebiet Kirdorf

Schmutzstoff	AFS63	BSB ₅	CSB	TOC	NH ₄ -N	PO ₄ -P
Mittlere Schmutzwasser-konzentrationen in mg/l	500	439	745	250	44	11

vorgegeben werden. Anpassen sind zusätzlich die Einwohnerzahlen: In der Originaldatei ist jedem Misch- und Trenngebiet eine Einwohnerzahl zugeordnet. Durch die vorgenommene Teilung der Gebiete müssen auch die Einwohner flächengewichtet auf die einzelnen Flächentypen verteilt werden, da sich ansonsten der Schmutzwasserabfluss unrichtigerweise erhöht. Flächentypen der Kategorie 3 fassen generell Flächen auf, die nicht bewohnt sind. Dazu gehören Flächen wie beispielsweise hochfrequentierte Parkplätze, Gleisanlagen und Reiterhöfe. Daher wird für alle Flächen der Kategorie 3 die Einwohnerzahl auf Null gesetzt, während die Flächentypen 1 und 2 die ursprüngliche Einwohnerzahl flächengewichtet zugeordnet bekommen. Der Einwohneranteil des Flächentyps 3 wird dabei je zur Hälfte auf die Einwohner der Kategorie 1 und 2 addiert.

Des Weiteren müssen die Beckendateien (*.BEK) und Beckenkennliniendateien (*.BKL) angepasst werden: Die Bauwerke im realen System werden mithilfe der *.BEK- und *.BKL-Datei beschrieben. Die *.BEK-Datei erfasst sämtliche Speicherbauwerke des Kanalnetzes, während die *.BKL-Datei Kennlinien für die einzelnen Speicherbauwerke vorgibt. Becken, die nicht mehr im betrachteten Teilgebiet vorkommen, werden aus der *.BEK und *.BKL entfernt. Für das fiktive System sind alle Becken zu entfernen und durch ein Zentralbecken zu ersetzen. Es verlangt ein Zentralbecken, dessen Gesamtspeichervolumen in einer vorhergehenden Rechnung (siehe Tabelle 9) bestimmt werden muss. Im vereinfachten Bemessungsverfahren kann die Tabelle 8 auf Seite 65 aus DWA-A 102 zur Hilfe herangezogen werden.

Werte in Tabelle 9, die mit „Kennwerte“ gekennzeichnet sind, sind aus der Tabelle 7 und Tabelle 8 entnommen. Die in Tabelle 7 und Tabelle 8 vorkommenden Einwohnerzahlen (E), befestigte Flächen ($A_{E,b,a}$) und Neigungsgruppen (NG) einzelner Gebiete wurden direkt aus der *.FKA übertragen. Der mittlere häusliche Abfluss $Q_{H,aM}$ errechnet sich aus der Multiplikation des täglichen Wasserverbrauchs pro Einwohner mit der Einwohnerzahl. Die Information zum täglichen Wasserverbrauch pro Einwohner findet sich ebenfalls in der *.FKA unter der Spalte des Trockenwetterabflusses. Sie ist für alle Flächen mit $123 \text{ l}/(E \cdot d)$ vorgegeben. $Q_{G,aM}$ bezeichnet den gewerblichen Abfluss und $Q_{F,aM}$ den Fremdwasserabfluss. Die Werte dafür sind für alle Flächen mit $Q_G = 0,012 \text{ l}/(s \cdot \text{ha})$ und $Q_F = 0,05 \text{ l}/(s \cdot \text{ha})$ in der *.FKA angegeben. Diese Werte sind mit den jeweiligen befestigten Flächen zu multiplizieren. Der Basisabfluss des Außengebietes A08K2 in Höhe von $0,02 \text{ l}/(s \cdot \text{ha})$ geht in die Rechnung als Fremdwasserabfluss ein. Für das Einzugsgebiet der Kläranlage setzen sich die Einwohner, der häusliche und gewerbliche Abfluss und der Fremdwasserabfluss als Summe der Teilgebiete zusammen. Der Schmutzwasserabfluss $Q_{S,aM}$ ist die Summe aus dem häuslichen und gewerblichen Abfluss.

Da keine Messungen zum Regenabfluss aus Trenngebieten $Q_{R,Tr}$ vorlagen, wird sich an die Vorgabe im Kapitel 10.4.2.1 des DWA-A 102 gehalten. Es wird mit einem Zuschlag von 100% des mittleren Schmutzwasserabflusses $Q_{S,aM}$ gerechnet.

Der Trockenwetterabfluss im Jahresmittel wird als $Q_{T,aM}$ bezeichnet. Er setzt sich aus dem Schmutzwasserabfluss $Q_{S,aM}$ und dem Fremdwasserabfluss $Q_{F,aM}$ zusammen. Der Kennwert „X“ wird benutzt, um den Tagesspitzenabfluss des Schmutzwasserabflusses $Q_{S,X}$ bei Trockenwetter zu ermitteln. Zu finden ist der Divisor X im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 (DWA 2003, S. 21). Die Einwohnerzahlen des hier betrachteten Kirdorfer Systems sind gemäß ATV-DVWK-A 198 dem ländlichen Bereich

zuzuordnen, da die Einwohnerzahlen der Gebiete kleiner 5.000 sind. Aus dem Bild des A 198 wird für X der Wert 12 entnommen. Damit errechnet sich der Tagesspitzenabfluss des Schmutzwasserabflusses $Q_{S,X}$, indem der Schmutzwasserabfluss mit 24 multipliziert und anschließend durch den Divisor X dividiert wird. Für das Einzugsgebiet der Kläranlage gilt die Summe der einzelnen Flächentagesspitzenabflüsse als Tagesspitzenabfluss.

Für die Kennwerte $C_{T,AFS63}$ und $C_{T,CSB,Standard}$ werden gemäß Kapitel 10.4.2.7 des DWA-A 102 standardmäßig 150 mg/l und 600 mg/l angesetzt. Die CSB-Konzentration im Trockenwetterabfluss $C_{T,CSB}$ der einzelnen Flächen berechnet sich aus der Gleichung (1):

$$Q_{S,aM} * C_{T,CSB,Standard} = Q_{T,aM} * C_{T,CSB} \quad (1)$$

Die berechneten Werte gehen als Eingabedaten in Tabelle 9 ein.

Der Datensatz des realen Systems mit sämtlichen Becken wird als „REAL“ bezeichnet, während das fiktive System mit „BFIK“ beschrieben wird. Die Summenwerte aus einer Simulation werden in der Ergebnisdatei *.SUM umfasst. Dabei handelt es sich um Simulationswerte, die das System und die Abflusssituation innerhalb des Bilanzierungszeitraums beschreiben (Reußner und Muschalla 2012b, S. 98).

Tabelle 7: Kennwerte-Ermittlung für das System Kirdorf - Teil I

Kennwerte der Teilgebiete und des Gesamtsystems EZG KA													
Teilgebiet	Einheit	F04	F04K2	F04K3	F05A	F05B	F06	F06K2	F06K3	F07	F07K2	F07K3	F08
Einwohner	E	26	4	0	565	841	2358	224	0	779	109	0	1924
A _{E,b,a}	ha	11,12	1,86	0,28	16,50	8,73	24,14	2,12	0,37	12,18	1,46	0,55	29,54
NG	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Q _{H,aM}	l/s	0,037	0,006	0,000	0,804	1,197	3,357	0,319	0,000	1,109	0,155	0,000	2,739
Q _{G,aM}	l/s	0,133	0,022	0,003	0,198	0,105	0,290	0,025	0,004	0,146	0,018	0,007	0,354
Q _{S,aM}	l/s	0,170	0,028	0,003	1,002	1,302	3,647	0,344	0,004	1,255	0,173	0,007	3,094
Q _{R,Tr}	l/s												
Q _{F,aM}	l/s	0,556	0,093	0,014	0,825	0,4365	1,207	0,106	0,0185	0,609	0,073	0,0275	1,477
Q _{T,aM}	l/s	0,726	0,121	0,017	1,827	1,739	4,854	0,450	0,023	1,864	0,246	0,034	4,571
X		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Q _{S,X}	l/s	0,341	0,056	0,007	2,005	2,604	7,293	0,689	0,009	2,510	0,345	0,013	6,187
Q _{T,X}	l/s	0,897	0,149	0,021	2,830	3,041	8,500	0,795	0,027	3,119	0,418	0,041	7,664
C _{T,AFS63}	mg/l												
C _{T,CSB}	mg/l	140,78	138,90	116,13	329,11	449,35	450,79	458,77	116,13	403,99	421,73	116,13	406,10

Tabelle 8: Kennwerte-Ermittlung für das System Kirdorf - Teil II

Kennwerte der Teilgebiete und des Gesamtsystems EZG KA													
Teilgebiet	Einheit	F08K2	F09	F09K2	F10	F10K2	F10K3	F11	F11K2	F11K3	T07	A08K2	EZG KA
Einwohner	E	16	1451	38	1854	114	0	1401	244	0	269		12217
A _{E,b,a}	ha	0,25	23,66	0,62	25,27	1,17	0,81	15,33	2,18	1,20	6,64	1,10	179,34
NG	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		2
Q _{H,aM}	l/s	0,023	2,066	0,054	2,639	0,162	0,000	1,994	0,347	0,000	0,383		17,392
Q _{G,aM}	l/s	0,003	0,284	0,007	0,303	0,014	0,010	0,184	0,026	0,014	0,080		2,232
Q _{S,aM}	l/s	0,026	2,350	0,062	2,943	0,176	0,010	2,178	0,374	0,014	0,463		19,624
Q _{R,Tr}	l/s										0,463		0,462
Q _{F,aM}	l/s	0,0125	1,183	0,031	1,2635	0,0585	0,0405	0,7665	0,109	0,06	0,332	0,02	9,321
Q _{T,aM}	l/s	0,038	3,533	0,093	4,206	0,235	0,050	2,945	0,483	0,074	0,795		28,945
X		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12
Q _{S,X}	l/s	0,052	4,699	0,123	5,885	0,353	0,019	4,357	0,747	0,029	0,925		39,248
Q _{T,X}	l/s	0,064	5,882	0,154	7,149	0,411	0,060	5,123	0,856	0,089	1,257		48,547
C _{T,AFS63}	mg/l												150
C _{T,CSB}	mg/l	404,06	399,07	399,00	419,76	450,53	116,13	443,83	464,46	116,13	349,32		406,79

Tabelle 9: Bemessungsverfahren zur Ermittlung des erforderlichen Speichervolumens für das Projektgebiet Kirdorf nach Tabelle 8 aus DWA-A 102

Bemessung Kirdorf	Wert	Dimension	Werte entnommen aus
mittlere Jahresniederschlagshöhe	725	mm	REAL.SUM
mittlerer Abflussbeiwert ψ	0,46	-	Formel (3) aus A-102
undurchlässige Gesamtfläche A_u	81,7	ha	REAL.SUM
mittlere Geländeneigungsgruppe NG_m	2		REAL.FKA
längengewichtetes Produkt aus $d \cdot l$	0,003	mm	Gleichung (46) aus A-102
Flächenanteile I	92,53	%	GIS
Flächenanteile II	5,75	%	GIS
Flächenanteile III	1,72	%	GIS
Anpassungsfaktor $f_{Au,A128}$	1,454766	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
CSB-Konz. Im TW-Abfluss $C_{T,CSB}$	407,09	mg/l	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
AFS63-Konz. Im TW-Abluss $C_{T,AFS63}$	150	mg/l	aus Tabelle 8 (Standardwert für AFS63)
AFS63-Konz. Im RW-Abluss $C_{r,AFS63}$	85	mg/l	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
mittlerer Fremdwasserabfluss $Q_{F,am}$	9,299	l/s	REAL.FKA
Drosselabfluss Q_M	270	l/s	REAL.SUM
TW-Abfluss Tagesspitze $Q_{T,x}$	48,55	l/s	aus Tabelle 8
TW-Abfluss 24-h-Mittel $Q_{T,aM}$	28,92	l/s	aus Tabelle 8
Regenabfluss aus TRN $Q_{R,Tr}$	0,383	l/s	aus Tabelle 8
Regenabfluss 24h-Mittel Q_R	240,69	l/s	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Regenabflusspende berechnet nach Formel q_r	2,03	l/s	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
TW-Abflusspende aus Gesamtgebiet q_{t24}	0,24	l/s	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Fließzeitabminderung a_f	0,885	-	Keine Daten vorhanden
mittl. Regenabfluss bei Entlastung $Q_{R,e}$	997,20	l/s	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
mittleres Mischverhältnis m	34,49	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Einflusswert Jahresniederschlag a_h	-0,09	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
x_a -Wert für Kanalablagerungen	14,30	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102

tau-Wert für Kanalablagerungen	0,68	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Einflusswert Kanalablagerungen a_a	0,37	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Einflusswert CSB-TW-Konzentration $a_{C,CSB}$	1,00	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
maßgebliche Bemessungskonzentration $C_{b,AFS63,n}$	766,38	mg/l	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
normierte rechn. RW-Konzentration C_R	107,00	mg/l	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
norm. Rechn. AFS63-Entlastungskonzentration $C_{e,AFS,n}$	125,58	mg/l	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
zulässige Entlastungsrate e_0	66,57	%	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Hilfsgröße 1 H1	1572,38	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
Hilfsgröße 2 H2	25,40	-	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
spezifisches Speichervolumen V_s	-5,43	m ³ /ha	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
spezifisches Mindestspeichervolumen $V_{s,min}$	11,38	m ³ /ha	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102
erforderliches Speichervolumen V	929,46	m ³ /ha	Formel aus Tab. 8 vom DWA-A 102

Einige Daten bedürfen einer Erklärung, warum die Werte so gewählt worden sind. Diese Werte werden kurz erläutert.

Der mittlere Abflussbeiwert ψ_m wird über die Formel (3) aus DWA-A 102 berechnet. Da die befestigte, angeschlossene Fläche $A_{E,b,a}$ und die undurchlässige Fläche A_u aus dem „REAL“-Datensatz bekannt sind, kann der Abflussbeiwert aus dem Quotient der beiden Flächen zu $\psi_m = 0,46$ berechnet werden.

Die Verschmutzung des Trockenwetterabflusses für AFS63 $C_{T,AFS63}$ wird standardmäßig zu 150 mg/l angesetzt, da „gebietsbezogene Messungen zur Verschmutzung des Trockenwetterabflusses in der Regel keine Aufschlüsselung in Konzentrationswerte der Schmutz- und Fremdwasseranteile erlauben“ (DWA 2016, S. 61).

Im Bemessungsgang zur Mischwasserbehandlung wird gemäß DWA-A 102 die Verschmutzung des Niederschlagsabflusses $C_{R,AFS63} = 85$ mg/l als Mindestwert vorgegeben, auch wenn die tatsächliche Flächenaufteilung der drei Belastungskategorien im Gebiet Kirdorf kleinere Werte ergibt, was in diesem Projekt zutreffen würde: Da Kirdorf ein Stadtteil Bad Homburgs ist, besteht es laut Flächennutzungsplan zu einem sehr hohen Anteil aus Wohngebieten und naturnahen Erholungsflächen. Wohngebietsflächen werden der Belastungskategorie I „gering belastet“ zugeordnet (DWA 2016, S. 39), weswegen sich der sehr hohe Flächenanteil I (ca. 93%) ergibt. Mit der tatsächlichen Flächenaufteilung von 92,53 % für Kategorie I, 5,75 % für Kategorie II und 1,72 % für Kategorie III ergibt sich rechnerisch eine minimale Konzentration von 54 mg/l (siehe Tabelle 10). Die hierbei betrachtete abflusswirksame Jahresniederschlagshöhe $h_{Na,eff}$ ist auf Grundlage der Referenzwerte aus dem Arbeitsblatt ATV-A 128 zum Jahresniederschlagsabfluss befestigter Flächen aus Kapitel 8.2.2 des DWA-A 102 abgeleitet. Grund dafür ist der vorhin erwähnte Bezugslastfall (siehe 4.1.3) mit der Jahresniederschlagshöhe $h_{Na} = 800$ mm/a und einem Abflussbeiwert von 0,7. Die AFS63-Konzentrationen im Niederschlagsabfluss der drei verschiedenen Flächen errechnen sich, indem die jeweilige Stoffabtragsfracht durch die Jahresniederschlagshöhe dividiert wird. Die minimale Konzentration ergibt sich aus der prozentualen Gewichtung von $C_{Kategorie I}$, $C_{Kategorie II}$ und $C_{Kategorie III}$. Da die ermittelte Minimalkonzentration kleiner ist als der in der DWA-A 102 vorgegebene Mindestwert, werden die 85 mg/l für $C_{R,AFS63}$ in die Berechnung für Tabelle 9 eingebunden.

Tabelle 10: Ermittlung der minimalen AFS63- Konzentration im Niederschlagsabfluss

Bezeichnung	Wert	Dimension
abflusswirksame Jahresniederschlagshöhe $h_{Na,eff}$	560	mm/a
Flächenanteil Kat. I	92,53	%
Flächenanteil Kat. II	5,75	%
Flächenanteil Kat. III	1,72	%
Stoffabtragsfracht Kat. I	280	kg/(ha*a)
Stoffabtragsfracht Kat. II	530	kg/(ha*a)
Stoffabtragsfracht Kat. III	760	kg/(ha*a)
$C_{Kategorie I}$	50	mg/l
$C_{Kategorie II}$	94,64	mg/l
$C_{Kategorie III}$	135,71	mg/l
C_{min}	54,04	mg/l

Der Faktor $f_{Au,A128}$ stellt einen dimensionslosen Flächenkennwert dar, der als Anpassungsfaktor für die undurchlässige Fläche nach Arbeitsblatt ATV-A 128 dienen soll, wobei im ATV-A 128 dieser Faktor nicht explizit erwähnt worden ist. Der Anpassungsfaktor ist abhängig vom mittleren Abflussbeiwert ψ_m .

$$f_{Au,A128} = -0,8229 * \psi_m + 1,833 \quad (2)$$

Als Eingabewert ist in Tabelle 8 des DWA-A 102 die längste Fließzeit im Gesamtgebiet erfordert, die zur Berechnung der Fließzeitabminderung benötigt wird. Für das betrachtete Beispiel lagen hierzu keine Daten vor. Daher wurde als Fließzeitabminderung a_f der Standardwert 0,885 angenommen.

Als einer der letzten Schritte soll das spezifische Mindestspeichervolumen $V_{S,Min}$ ermittelt werden. Das Mindestspeichervolumen dient dazu, im Durchlaufbecken eine hinreichende Absetzwirkung für den Mischwasserabfluss zu erzielen (DWA 2016, S. 66).

$$V_{S,Min} = 3,60 + 3,84 * q_r \quad (3)$$

Das spezifische Speichervolumen ist abhängig von den zuvor berechneten Hilfsgrößen H_1 , H_2 , Entlastungsrate e_0 und den Flächenkennwert $f_{Au,A128}$.

$$V_S = \left(\frac{H_1}{e_0 + 6} - H_2 \right) * f_{Au,A128} \quad (4)$$

Als maßgebendes spezifisches Speichervolumen wird schlussendlich der Wert angenommen, der beim Vergleich zwischen dem spezifischen Mindestspeichervolumen $V_{S,Min}$ und dem Speichervolumen V_S größer ist. Dieser Wert wird im letzten Schritt mit der undurchlässigen Gesamtfläche des Systems A_u multipliziert, um das endgültige Beckenvolumen festzulegen.

Da das spezifische Speichervolumen V_S kleiner ist als das spezifische Mindestspeichervolumen $V_{S,Min} = 11,38 \text{ m}^3/\text{ha}$, wird für die Berechnung des erforderlichen Speichervolumens das $V_{S,Min}$ mit der undurchlässigen Fläche A_u multipliziert. Das erforderliche Speichervolumen V beträgt damit 930 m^3 .

Im DWA-A 102 wird zusätzlich zur vergleichenden Gegenüberstellung der jeweiligen Frachten ein maximales spezifisches Speichervolumen von $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ gefordert (siehe 7). Das erforderliche spezifische Gesamtspeichervolumen V_S ist $11,38 \text{ m}^3/\text{ha}$ groß und überschreitet damit nicht den maximalen Wert von $40 \text{ m}^3/\text{ha}$. Somit ist auch diese Anforderung für den Nachweis erbracht.

Im Schmutzfrachtsimulationsmodell im Formular Becken werden die Attribute des fiktiven Zentralbeckens bearbeitet. Zur Berechnung von Becken stehen grundsätzlich 3 Optionen zur Verfügung. Im Kontext eines fiktiven Beckens erscheint der Berechnungstyp „Näherung“ am sinnvollsten, da bei diesem Berechnungstyp einige Attribute, wie beispielsweise Beckengeometrie, wegfallen. Für den gewählten Berechnungstyp „Näherung“ müssen folgende Daten eingegeben werden: Beckenvolumen, Drosselabfluss und maximaler Abfluss beim Klärüberlauf.

Das soeben errechnete erforderliche Speichervolumen $V = 930 \text{ m}^3$ wird als Beckenvolumen gesetzt. Der Drosselabfluss für das Gesamtgebiet lässt sich aus REAL.SUM – Gebiets- und Systemkenngrößen- unter „Qd“ in der Zeile „SUMME“ ablesen: $Q_d = 270 \text{ l/s}$. Der maximale Abfluss des Klärüberlaufs ist bei einem Becken ohne Beckenüberlauf so groß anzugeben, dass keine Überlastung eintritt. Diese Maßnahme gilt nur bei Berechnungstyp „Näherung“ (Reußner und Muschalla 2012b, S. 60–61). Standardmäßig wird der Maximalabfluss als 9.999 l/s definiert. Als Beckentyp ist ein Durchlaufbecken im Nebenschluss „DLB N“ anzusetzen.

Nach Anpassung des erforderlichen Dateninputs kann eine Simulation in SMUSI vorgenommen werden. Der jeweilige ASCII-Datensatz der Simulation sowohl die des fiktiven als auch die des realen Kirdorf - Systems findet sich im Anhang.

5.3. Immissionsnachweis

Für jeden Nachweisort sind bei einem kompletten Immissionsnachweis neben dem Wiederbesiedlungspotential, der hydraulischen Belastung, Gewässermorphologie, Phosphorfracht und Keimzahl die Einhaltung der Zielsetzungen für den Sauerstoffhaushalt, die Ammoniakkonzentration und die Fracht des Feinanteils der AFS63 nachzuweisen. Da ein vollständiger Immissionsnachweis den Rahmen einer Bachelorarbeit überschreiten würde und es nicht relevant für die Aufgabenstellung ist, wird infolge eines stofflichen Nachweises allein die AFS63-Fracht betrachtet. Zur Immissionsbetrachtung ist ein Excel-Sheet zur Hilfe gezogen worden, mithilfe dessen die spezifische Gewässerfracht b_g ermittelt werden kann.

5.3.1. Datengrundlage und GIS-unterstützte Methodik

Für die Durchführung des Immissionsnachweises werden die shape-Dateien von der Geodateninfrastruktur Hessen, welche in Europa unter dem Leitwort INSPIRE aufgebaut wird, genutzt (Zentrale Kompetenzstelle für Geoinformation). Unter anderem wird das gewässerkundliche Flächenverzeichnis in shape-Format gebraucht, um die Direkteinzugsgebiete zu den einzelnen Einleitstellen zuzuteilen. Das oberirdische Einzugsgebiet des Gewässers bis zur jeweiligen Einleitstelle kann mithilfe von ArcGIS ermittelt werden. Dazu wird das natürliche Gesamteinzugsgebiet an den Einleitstellen geschnitten, sodass jeder Einleitstelle ein Direkteinzugsgebiet A_{E0} zugeordnet werden kann (siehe Abbildung 8).

Die Einleitstellen in den Kirdorfer Bach sind bereits im realen Projekt im Rahmen der Betrachtung des Leitfadens für Immissionsbetrachtung festgelegt worden. Jene Einleitstellen wurden direkt für diese Arbeit übernommen.

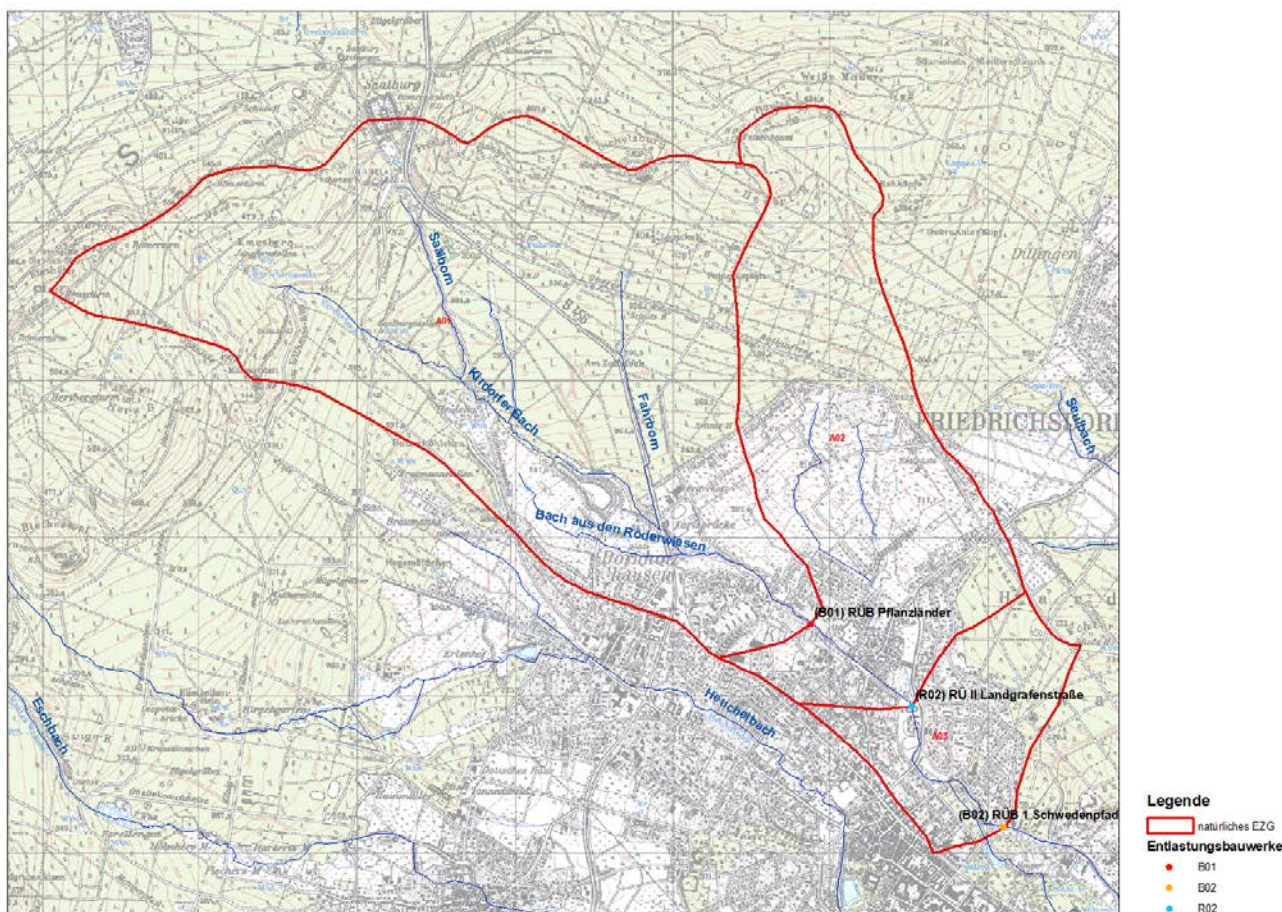


Abbildung 8: Natürliches Einzugsgebiet mit Einleitstellen (Immissionsbetrachtung)

Die Einleitungsfrachten ins Gewässer bei jeder einzelnen Einleitstelle können aus der Simulation mit dem Schmutzfrachtsimulationsmodell entnommen werden. Dies ist möglich, da das verwendete Schmutzfrachtsimulationsmodell ein sogenanntes erweitertes Schmutzfrachtmodell ist und dementsprechend den Anforderungen des BWK-A 3 genügt.

5.3.2. Vorgehen mithilfe Excel

Jedes Bauwerk leitet in einem Entlastungsfall in das Gewässer „Kirdorfer Bach“ ein. Die Entlastungsfrachten der einzelnen Bauwerke B_E wurden bereits im detaillierten Schmutzfrachtnachweis im Kontext der Emissionsbetrachtung ermittelt. Die Entlastungsfrachten einzelner Bauwerke können in der *.SUM-Datei unter den A 128-Kenngrößen übersichtlich entnommen werden.

Die Gewässervorbelastung wird über die Vorbelastungsfracht bei Niedrigwasserabfluss bestimmt. Für die betrachtete Stoffgruppe der AFS63 wird eine spezifische Vorbelastungsfracht b_v von 48 kg/(ha*a) bzw. 4.800 kg/(km²*a) errechnet. Prinzipiell wird jedes Gesamteinzugsgebiet bis zur Einleitstelle mit der spezifischen Vorbelastungsfracht multipliziert, um die Vorbelastungsfracht B_v ermitteln zu können.

Die resultierende Gewässerfracht B_G ist die Summe aus der Entlastungsfracht B_E , der Vorbelastungsfracht B_v und den zuvor oberhalb eingeleiteten Entlastungsfrachten. Zum Nachweis der AFS63-Fracht ist es notwendig, die spezifische Gewässerfracht b_G zu bestimmen, welche als Quotient aus der Gewässerfracht

und der Größe des oberirdischen Einzugsgebietes errechnet wird. Die Gewässerfracht darf die vorgegebene spezifische kritische Grenzfracht $b_g = 96 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ nicht überschreiten.

5.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Emissions- und Immissionsnachweises werden nachfolgend aufgezeigt.

5.4.1. Emissionsnachweis

Der originale Datensatz von Bad Homburg erfüllt die Auflagen, die nach dem SMUSI-Erlass 1991 bei der Überrechnung und Neuplanung von Kanalnetzen einzuhalten sind:

- Regenüberlauf: maximal 50-malige Entlastung und höchstens 20 Stunden Entlastungsdauer
- Fangbecken, Durchlaufbecken, Stauraumkanal mit obenliegender Entlastung: spezifische Entlastungsfracht $250 \text{ kg CSB}/(\text{ha}_{\text{red}} \cdot \text{a})$
- Stauraumkanal mit untenliegender Entlastung: spezifische Entlastungsfracht $225 \text{ kg CSB}/(\text{ha}_{\text{red}} \cdot \text{a})$

Die Ergebnisse für den optimierten ENDAUSBAU-Zustand hinsichtlich der Speicher- und Entlastungsbauwerke, die im Teilgebiet Kirdorf vorkommen, lagen nach der SMUSI-Berechnung folgende Entlastungsgrößen vor: Das B01 ist ein Fangbecken, das mit $119 \text{ kg CSB}/\text{ha}$ ins Gewässer entlastet. Damit liegt es nach den oben genannten Prüfgrößen zu $47,6 \%$ unterhalb der Grenzfracht von $250 \text{ kg CSB}/\text{ha}$. Das Durchlaufbecken B02, welches auch im betrachteten Teilgebiet Kirdorf vorkommt, entlastet mit $124 \text{ kg CSB}/\text{ha}$ und ist um $49,6 \%$ ebenfalls deutlich unterhalb der besagten Grenzfracht. Beim Regenüberlauf wird die Häufigkeit und Dauer der Entlastung geprüft. Der Regenüberlauf R02 entlastet 7-mal und höchstens $2,3 \text{ h}$ lang. Der Prüfwert liegt bei maximal 50-maliger Entlastung und höchstens 20 h Entlastungsdauer. Es ist offensichtlich, dass auch dieser Regenüberlauf weit unterhalb den geforderten Richtwerten liegt. Alle Nachweisgrößen werden für die betrachteten Bauwerke mit den bisherigen Nachweisverfahren eindeutig eingehalten. (Mehler et al. 2015, S. 22)

Der Datensatz mit dem fiktiven Zentralbecken, welches die Zielgröße vorgibt, ist als „BFIK“ bezeichnet. In der *.SUM-Datei finden sich alle Simulationswerte, die das System und die Abflusssituation innerhalb des Bilanzierungszeitraums, in diesem Fall ein Jahr, charakterisieren (Reußner und Muschalla 2012b, S. 98). Im letzten Absatz dieser Datei findet man die A 128-Kenngrößen. Die für diese Arbeit relevante Kenngröße ist dabei die CSB-Fracht S_{Fe} in kg/a . Da in der Eingabedatei *.ALL die beiden Schmutzparameter CSB und AFS63 vertauscht wurden, ist die gesuchte Zielgröße AFS63 in der Spalte der CSB-Fracht zu finden. Die Simulation mit dem fiktiven Zentralbecken gibt für die zulässige AFS63-Fracht einen Wert von $7.386 \text{ kg}/\text{a}$ aus.

Dieser Wert wird nun mit der resultierenden AFS63-Jahresentlastungsfracht, die sich aus der Berechnung mit dem realen System „REAL“ ergibt, verglichen. Die reale AFS63-Fracht liegt dabei bei $5.416 \text{ kg}/\text{a}$. Damit ist der Emissionsnachweis erbracht und ist kompatibel mit dem bisherigen Ergebnis des Emissionsnachweises, welches auf Basis von oben genannten Anforderungen gemäß SMUSI-Erlass

1991 erbracht worden ist. Die Ergebniswerte für die beiden Systemzustände sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Kennwerte beider Systemzustände als Ergebniswerte aus der Anwendung von Nachweisverfahren

Systemzustand	Drossel- abfluss Q_{Dr} (l/s)	Entlastetes Mischwasser- abflussvolumen VQ_e (m ³ /a)	Entlastungsrate e_0 (%)	AFS63-Jahres- entlastungsfracht SF_e (kg/a)
fiktiv mit Zentral-becken	270	118.758	37	7.386
Reales Entwässerungs- system	270	82.248	26	5.416

Der direkte Vergleich beider Systemzustände zeigt die Unterschiede im Entlastungsverhalten. Außer beim Drosselabfluss sind bei jedem Entlastungskennwert Abweichungen erkennbar. Tendenziell sind alle Entlastungskenngrößen im realen Entwässerungssystem geringer. Maßgebende Kenngröße zur Erbringung eines Emissionsnachweises gemäß DWA-A 102 ist die AFS63 – Jahresentlastungsfracht. Mit 7.386 kg/a liegt die Jahresentlastungsfracht an AFS63 im fiktiven Entwässerungssystem um 36,4 % höher als die Entlastungsfracht im realen System. Die modellabhängige Jahresentlastungsfracht für AFS63, welche sich über eine Vorberechnung mit dem Zentralbecken ergibt, ist als Rechengröße zu verstehen. Sie dient als Zielgröße, welche nicht überschritten werden darf. In diesem Beispiel liegen die Ergebniswerte des realen Systems deutlich unterhalb dieser Zielgröße. Der Nachweis hat gezeigt, dass die entlastete Jahresfracht AFS63 als Frachtsumme aller Einzelentlastungen im Einzugsgebiet der Kläranlage den Wert aus der Vorberechnung nicht überschreitet.

5.4.2. Immissionsnachweis

Wie in 5.3 erwähnt, kann der detaillierte Immissionsnachweis bezüglich der AFS63-Fracht mit einem Excel-Sheet berechnet werden (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Immissionsnachweis Kirdorfer Bach

natürliches EZG _{Gesamt} (ha)	1382,90		spezifische Vorbelastungsfracht b_v	48	kg/((ha*a))		
			spezifische kritische Grenzfracht b_g	96	kg/((ha*a))		
Einleit- stelle	Direkteinzugs- gebiet (ha)	oberirdisches EZG des Gewässers bis zur Einleitstelle A_{eo}	Entlastungsfracht vom Bauwerk B_E (kg/a)	Vorbelastungsfracht B_V (kg/a)	resultierende Gewässer- fracht $B_G = (B_V + B_E)$ (kg/a)	spezifische Gewässerfracht $b_g = B_G / A_{eo}$ (kg/(ha*a))	Nachweis am Nachweisort erbracht?
B01	853,46	853,5	1484	40966	42450	49,7	Nachweis erbracht
R02	400,01	1253,5	300	19200	61951	49,4	Nachweis erbracht
B02	129,4	1382,9	3632	6213	71795	51,9	Nachweis erbracht

In Tabelle 12 kann der Immissionsnachweis nachvollzogen werden. Die resultierende Gewässerfracht steigt tendenziell mit zunehmender Kilometerlänge in Richtung des Fließweges. Die spezifische Gewässerfracht bezogen auf das Einzugsgebiet A_{e0} wird an der Einleitstelle B01 geringfügig kleiner, steigt jedoch an der letzten Einleitstelle B02. Zur Berechnung der spezifischen Gewässerfracht wird der Zähler des Quotienten an jeder weiteren Einleitstelle in Fließrichtung größer, da fortwährend zur der momentanen Entlastungsfracht B_E die Entlastungsfrachten von oberhalb und die Vorbelastungsfrachten vom Gesamteinzugsgebiet bis zur Einleitstelle aufsummiert werden. Durch das Schneiden des Gesamteinzugsgebiets vom Kirdorfer Bach im ArcGIS in die zugehörigen Direkteinzugsgebiete der jeweiligen Einleitstellen hat sich ein immer kleineres Direkteinzugsgebiet ergeben (siehe Abbildung 8). In diesem Nachweis ist gerade die Vorbelastungsfracht entscheidend. Im Vergleich zu den Vorbelastungsfrachten sind die Entlastungsfrachten verschwindend gering. Gerade bei einem Einzugsgebiet wie das des Kirdorfer Bachs, bei dem die erste Einleitstelle relativ weit unterhalb auftritt, ist die Vorbelastungsfracht vom ersten Direkteinzugsgebiet äußerst relevant für die spezifische Gewässerfrachtbestimmung.

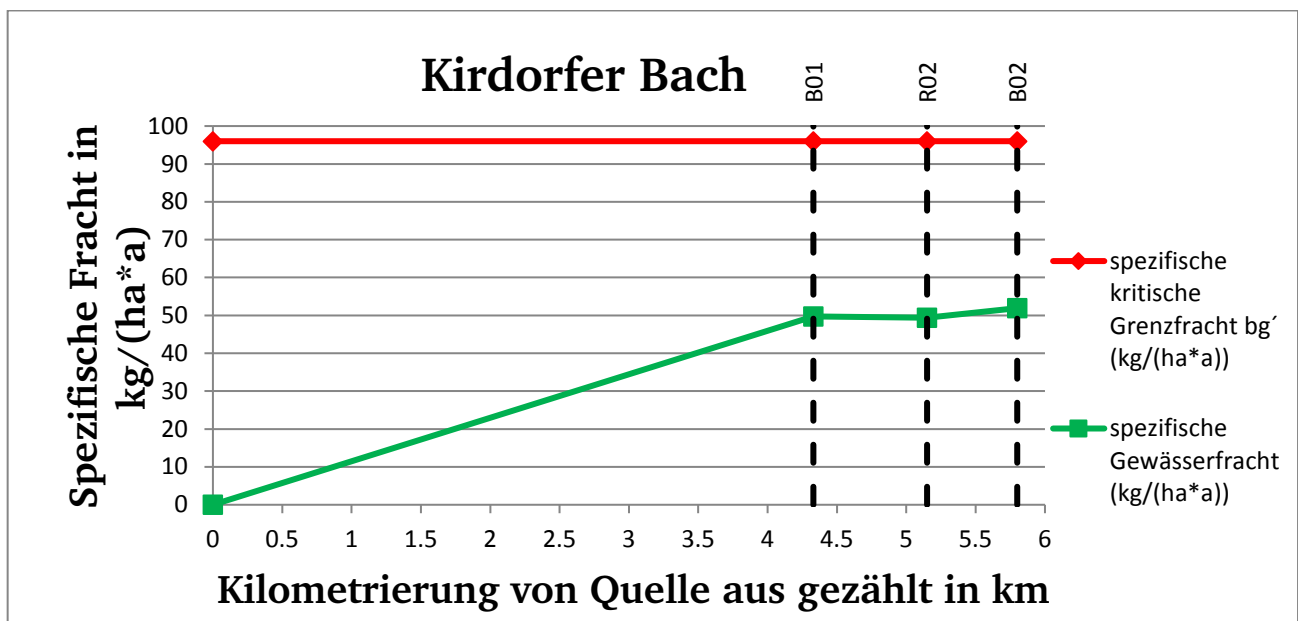


Abbildung 9: Spezifische Gewässerfracht des Kirdorfer Baches - spezifische kritische und berechnete spezifische Fracht

Abbildung 9 zeigt die spezifischen Grenzfrachten für das betrachtete Gebiet. Hierbei ist zu beachten, dass die Kilometrierung nicht wie üblicherweise entgegen der Fließrichtung gezählt wurde, sondern für das bessere Verständnis von der Quelle aus in Fließrichtung. Der rote Graph stellt die spezifische kritische Grenzfracht dar. Die spezifische Gewässerfracht ist in jedem Nachweisort bzw. an jeder Einleitstelle einzuhalten. Sie liegt gemäß Kapitel 6.5.1.3 des BWK-A 3 bei 96 kg/(ha*a). Die berechnete spezifische Gewässerfracht (grüner Graph) zeigt die tatsächliche Gewässerbelastung an, die durch das Entlastungsverhalten der Bauwerke und der Vorbelastungsfracht hervorgerufen wird. Sie steigt tendenziell an, da an jedem Nachweisort die Vorbelastungsfracht des Einzugsgebietes und die Einleitfrachten von oberhalb gelegenen Einleitstellen hinzugefügt wird. Da jedoch die Entlastungsfracht des R02 im Vergleich zu den anderen Bauwerken sehr niedrig ist, sinkt die spezifische Gewässerfracht an dieser Einleitstelle geringfügig. Grund für den Anstieg der spezifischen Fracht beim Speicherbauwerk B02 ist neben der hohen Vorbelastungsfracht des Gesamteinzugsgebietes die hohe Entlastungsfracht, die

von B02 ins Gewässer eingeleitet wird. Dass sich die spezifischen Gewässerfrachten insgesamt nur sehr leicht verändern, ist auf das gewählte Einzugsgebiet zurückzuführen. Nach BWK-A 3 ist der Nachweis für die AFS63-Fracht erbracht, da die tatsächliche Gewässerfracht die kritische Grenzfracht nicht überschreitet.

5.5. Modellvariantenrechnungen

In diesem Kapitel wird die Auswirkung der AFS63-Konzentrationen auf das System untersucht. Die Orientierungswerte aus dem DWA-A 102 sind aus dem Abschlussbericht der DWA zur Entwicklung von Prüfverfahren abgeleitet (DWA 2010, S. 18–19). Dabei wurden AFS-Messwerte von Dach-, Verkehrs- und Mischflächen zusammengetragen. Diese Messwerte sind als Vertrauensbereich im Bild 5 des DWA-A 102 gekennzeichnet. Die Spannweite der gemessenen Konzentrationen ist groß, weswegen die Wahl des Schwerpunktwertes im DWA-A 102 deutliche Unter- aber auch Überschätzungen bewirken kann. Der Vertrauensbereich für die AFS-Konzentrationen ist abhängig von der Abflussart:

- Dachabfluss: 5 –100 mg/l
- Verkehrsflächenabfluss: 60-400 mg/l
- Mischflächenabfluss: 30-250 mg/l

Diese Werte beziehen sich alle auf die abfiltrierbaren Stoffe. Das DWA-A 102 setzt die Konzentrationen für AFS63 für den Verkehrsflächen- und Mischflächenabfluss herunter, während der Dachabfluss seine Konzentration beibehält. Dieses Verfahren wird bei der Modellvariantenrechnung übernommen, indem die AFS-Konzentrationen in Anlehnung an das DWA-A 102 prozentual herunter gerechnet werden. Die AFS-Konzentration des Dachflächenabflusses wird als AFS63-Konzentration übernommen. Die AFS63-Konzentration von Verkehrsflächenabfluss bzw. Mischflächenabfluss wird zu 60 % bzw. 56,7 % der AFS-Konzentration berechnet. Damit ergeben sich folgende AFS63-Konzentrationen für Modellvariante „Maximum“ und „Minimum“ (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: AFS63-Konzentrationen für Modellvarianten "Minimum" und "Maximum"

Feinanteil AFS63 (mg/l)	Minimum	Maximum
Dachabfluss	5	100
Verkehrsflächenabfluss	36	240
Mischflächenabfluss	17	142

Beim Vergleich mit den Konzentrationswerten aus dem DWA-A 102 sind große Unterschiede in beiden Modellvarianten bemerkbar. Die Modellvariante „Maximum“ hat vergleichsweise doppelt so hohe AFS63-Konzentrationen für den Dach- und Verkehrsflächenabfluss, während die Variante „Minimum“ sehr niedrige Konzentrationen gerade für den Dach- und Mischflächenabfluss festlegt. Bei direkter Gegenüberstellung der beiden Modellvarianten fällt die große Differenz zwischen den einzelnen Abflussarten auf.

Anstatt Schwerpunktwerte zu ermitteln, werden Datensätze mit jeweils dem maximalen bzw. minimalen Wert aufgesetzt. Davor müssen die AFS63-Konzentrationen in Stoffabtragsfrachten umgerechnet

werden. Die Berechnung kann auf Grundlage der effektiven Jahresniederschlagshöhe $h_{Na,eff} = 560 \text{ mm/a}$ und der prozentualen Standardflächenverteilung erfolgen. Zusätzlich ist es für die spätere Berechnung des fiktiven Zentralbeckens notwendig, den Mindestwert für die AFS63-Konzentration im Niederschlagsabfluss zu ermitteln (siehe Tabelle 14)

Tabelle 14: Ermittlung der Stoffabtragsfrachten für Modellvariante "Minimum" und „Maximum“

Bezeichnung	„Minimum“	„Maximum“	Dimension
$h_{Na,eff}$	560	560	mm/a
p_I	30	30	%
p_{II}	60	60	%
p_{III}	10	10	%
$C_{Dachabfluss}$	5	100	mg/l
$C_{Mischflächenabfluss}$	17	142	mg/l
$C_{Verkehrsflächenabfluss}$	36	240	mg/l
C_{min}	15,3	139,2	mg/l
$b_{R,a,I}$	28	560	kg/(ha*a)
$b_{R,a,II}$	95,2	795,2	kg/(ha*a)
$b_{R,a,III}$	201,6	1344	kg/(ha*a)

Die ermittelten Stoffabtragsfrachten für die drei verschiedenen Kategorien werden in die jeweiligen Datensätze in der *.ALL eingebettet, indem die Stoffpotentiale mit den neuen Werten nachgezogen werden. Der fiktive Datensatz wird als „BFIKMIN“ bzw. „BFIKMAX“ und der reale Datensatz mit „REALMIN“ bzw. „REALMAX“ bezeichnet.

Es werden die Speichervolumina der fiktiven Zentralbecken für beide Varianten berechnet. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die AFS63-Konzentration im Regenwasserabfluss $C_{R,AFS63}$ mit den oben ermittelten Mindestwerten C_{min} angepasst werden muss. Die berechnete AFS63-Konzentration im Regenwasserabfluss beträgt 6,2 mg/l. Da in der Modellvariante „Minimum“ die ermittelte Konzentration $C_{R,AFS63}$ kleiner ist als der von der DWA-A 102 vorgegebene Mindestwert 85 mg/l, ändert sich an der Berechnung des erforderlichen Zentralbecken-Speichervolumens nichts. Für das fiktive Zentralbecken werden im BFIKMIN.BEK weiterhin die 930 m³/ha als Speichervolumen angesetzt.

Anders verhält es sich beim „Maximum“-Datensatz. Durch die neuen Stoffpotentiale ergibt sich als neuer $C_{R,AFS63}$ –Wert 104,8 mg/l. Diese Erhöhung bewirkt ein erhöhtes spezifisches Speichervolumen V_s , welches aber kleiner ist als das $V_{s,min}$. Das erforderliche Speichervolumen V wird damit, wie auch bei allen anderen Zentralbeckenberechnungen weiter oben, bei 930 m³/ha angesetzt.

Nach Einbettung der neuen Stoffpotentiale und Berechnung mit SMUSI werden folgende Ergebnisse ermittelt (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Gegenüberstellung der AFS63-Jahresentlastungsfrachten von Modellvarianten "Minimum", „Maximum“ und „Kirdorf“

AFS63- Jahresentlastungsfracht SFe (kg/a)	Variante „Minimum“	Variante „Kirdorf“	Variante „Maximum“
Fiktiv mit Zentralbecken	1.538	7.386	13.601
Reales Entwässerungssystem	1.119	5.416	9.991

Der direkte Vergleich der extremen Modellvarianten zeigt die sehr hohe Differenz zwischen den einzelnen Werten. Logischerweise bleiben die Entlastungsfrachten des realen Systems immer unterhalb der zulässigen AFS63-Entlastungsfracht, da der Emissionsnachweis mit den Orientierungswerten aus dem DWA-A 102 ebenfalls erfüllt war. Prozentual entlastet das reale Entwässerungssystem in der Variante „Minimum“ um 37,4 % weniger AFS63-Fracht als das fiktive System, währenddessen das fiktive System bei „Maximum“ eine 36,1 % höhere Stofffracht ausgibt. Im Vergleich dazu wurde im Datensatz mit den Schwerpunktwerten aus dem DWA-A 102 eine 36,4 % höhere Fracht für das fiktive Zentralbecken berechnet. Bemerkenswert ist vor allem die mengenmäßige Differenz jeweils zwischen dem fiktiven und realen System. In der Variante „Minimum“ beträgt die Differenz 419 kg/a, während in der Variante „Maximum“ die Differenz bei 3.610 kg/a liegt und damit ca. 9-mal höher ist. Auch wenn die prozentualen Werte sich in etwa ähneln, ist für die Gewässerbetrachtung die mengenmäßig eingeleitete Fracht nicht unerheblich.

Die Ergebnisse, die mit den Schwerpunktwerten aus dem DWA-A 102 ermittelt wurden, sind ebenfalls in Tabelle 15 dargestellt. Der arithmetische Mittelwert, der sich aus den beiden extremen Varianten ergibt, liegt für das fiktive System bei 7.569,5 kg/a und für das reale System bei 5.555 kg/a. Die Entlastungsfrachten aus dem System „Kirdorf“, welche mit den Schwerpunktwerten aus dem DWA-A 102 berechnet wurden, bewegen sich damit etwas unterhalb der Mittelwerte zwischen der „Maximum“- und „Minimum“-Variante.

5.6. Problematiken

Während der Nachweisführung gemäß DWA-A 102/ BWK-A 3 sind einige Probleme aufgetreten, die zu ungenauen Simulationsergebnissen bzw. falschen Ergebnissen führen können. Die Probleme sollen hier kurz erläutert werden.

Die Digitalisierung der Flächen erfolgt manuell mithilfe eines Luftbildes und Flächennutzungsplans. Da die Flächeneinteilung nach Augenmaß erfolgt, können verschiedene Flächen hinsichtlich ihrer tatsächlichen Größe falsch ermittelt werden. Sind um ein Parkplatz herum beispielsweise Bäume angepflanzt, lässt sich nur schwer sagen, wo dieser Parkplatz begrenzt ist (siehe dazu Abbildung 10). Bei der Flächeneinteilung wird daher auf eine möglichst logische Flächeneingrenzung geachtet und nach diesem Prinzip zugeschnitten. Dennoch ist davon auszugehen, dass diese Flächenbestimmung nach

Augenmaß nicht der tatsächlichen Fläche entspricht, wodurch Flächen und damit die Frachten unterschiedlich bemessen werden und das Endergebnis möglicherweise verfälscht werden kann.



Abbildung 10: Beispiel für eine ungenaue Flächenermittlung an einem Parkplatz

Ein weiteres Problem, welches sich ebenfalls aus der manuellen Digitalisierung ergibt, ist die Abschätzung der Dachmaterialien. Da keine Datengrundlage zu Dachmaterialien vorhanden ist, liegt es am Bearbeiter eines Projekts, die Dachflächen mit Metalleindeckung auszusortieren und der Gruppe M2 zuzuordnen. Solch eine Zuordnung von Dachflächen ausschließlich nach Augenschein ist nicht zielführend und möglicherweise sogar falsch. Da jedoch für dieses Projektgebiet keine Daten zu den jeweiligen Dachmaterialien vorlagen, musste auf das ungenaue Verfahren zurückgegriffen werden. Zusätzlich ist anzumerken, dass in Tabelle 3 des DWA-A 102 von Dachflächen mit Metalleindeckung die Rede ist, wobei unklar bleibt, ob hier nur Metalleindeckungen aus Nichteisenmetall wie Kupfer oder Aluminium gemeint sind oder auch diejenigen aus beschichtetem Stahl- bzw. Eisenmetall. Im Rahmen der Bearbeitung dieses Projekts wurden alle Dachflächen aus Metall betrachtet. Dennoch ist eine Klarstellung für eine praktische Umsetzung in einem Ingenieurbüro notwendig.

Das Regelwerk DWA-A 102/ BWK-A 3 teilt Park- und Stellplätze hinsichtlich ihrer Frequentierung ein. Während V1 „geringe Frequentierung“ fordert, werden unter V2a Parkplätze mit „mäßiger Frequentierung“ zugeteilt. Sinngemäß wird unter „gering“ „nicht sehr groß“ verstanden, während „mäßig“ im Duden durch „relativ gering“ definiert wird (Duden 2017a, 2017b). Die Grenze zwischen einer geringen und mäßigen Frequentierung zu ziehen, liegt im Ermessen des Bearbeiters, da keine genaue Einteilung im neuen Regelwerk erfolgt. Jedoch ist gerade zwischen diesen beiden Gruppierungen eine genaue Unterscheidung wichtig, da bei einer geringen Frequentierung nicht behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser resultiert, was sich positiv auf die Gewässerbelastung auswirkt.

Bei der Gruppierung von Verkehrsflächen werden konkrete DTV- Werte vorgegeben. Genaue DTV-Werte zu einzelnen Straßen wie Bundesautobahnen, Bundesstraßen, Landesstraßen und Kreisstraßen sind unter der Homepage des hessischen Straßen- und Verkehrsmanagements einsehbar. Die Verkehrsdaten

wurden 2015 an rund 3.250 Zählstellen erhoben, wodurch für viele Strecken DTV-Werte zugeordnet werden können (Hessen Mobil - Straßen- und Verkehrsmanagement 2017). Da das Einzugsgebiet des Kirdorfer Bachs vergleichsweise zum Einzugsgebiet von Bad Homburg klein ist und für die dort verlaufenden überörtlichen Straßen keine Zählungen vorlagen, musste hier anhand dem Straßenausbau und den vorliegenden Verbindungsmöglichkeiten eine abgeschätzte Verkehrsflächeneinteilung vorgenommen werden.

6. Möglichkeiten und Grenzen der Modellierung mit AFS63

Der Parameter AFS63 ist im Vergleich zu bisherigen Stoffgrößen wie der CSB ein relativ neu eingeführter Parameter in der Fachwelt. Durch die Erkenntnis, dass relevante Schadstoffgruppen sich gezielt an die Feinfraktion der Feststoffe binden, ist der AFS63 relevant geworden, weswegen im DWA-A 102/ BWK-A 3 dieser Parameter als Zielgröße dient.

Durch die neuen publik gemachten Erkenntnisse zu AFS63 ist eine sehr große Datengrundlage entstanden, die nicht immer eindeutig ausgewertet werden kann. Prinzipiell ist eine große Heterogenität bezüglich der Datengrundlage über den AFS63-Parameter erkennbar. Dies äußert sich zum Beispiel durch die unterschiedlich gezogenen Grenzen für den AFS-Feinanteil. Je nach Studie und praktizierter Messmethodik werden unterschiedliche Ergebnisse veröffentlicht, die sich untereinander nicht vergleichen lassen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass alle Untersuchungsergebnisse abhängig vom Aufnahmeort durch lokalspezifische Charakteristiken, Probenaufbereitung, Mess- und Auswertungsmethodik bei der Analyse der aufgenommenen Proben eine große Spannweite an Ergebnissen liefern. Die Beschreibung der Bestimmungsmethoden zeigt, dass sämtliche Ergebnisse zu AFS- bzw. AFS63-Konzentrationen immer im Zusammenhang mit der verwendeten Methodik wie z.B. Filterart anzugeben sind (DWA 2010, S. 16). Dies wird häufig nicht ausreichend dokumentiert, wodurch die Vergleichbarkeit von Studien erschwert wird. Studien, die sich explizit mit der Feinfraktion beschäftigen, können die Grenze für die Feinfraktion beliebig wählen. In diesem Sinne wurden beispielsweise auch entgegen der für das Arbeitsblatt A102 gewählten Abgrenzung von $63\ \mu\text{m}$ zuweilen 45 , 75 , 100 oder $200\ \mu\text{m}$ ausgewählt, um die Feinfraktion der AFS zu definieren. Die Vergleichbarkeit von Messdaten wird durch vielfältige methodikspezifische und ortsspezifische Unterschiede erschwert. Dementsprechend können die Ergebnisse von solchen Studien mit nicht übereinstimmenden Korngrößenfraktionen zwar zusammengetragen werden, sind jedoch in ihrer Gesamtheit nur bedingt vergleichbar.

Wie in Kapitel 3 erwähnt, wird der AFS63-Parameter genutzt, um Metalle, Metallverbindungen und an Partikel gebundene Mikroschadstoffe indirekt zu berücksichtigen. Im Vergleich zu früheren Nachweisen ist das eine zusätzliche Möglichkeit, die durch anthropogen verursachten Gewässerbelastungen zu bewerten.

Die Modellierung mit AFS63 stößt bei Anwendung des neuen Regelwerks auf Grenzen, die durch eine nicht sichere Datengrundlage hervorgerufen wird. Grundsätzlich ist eine Kategorisierung von Flächen mithilfe der gegebenen Voraussetzungen möglich. Dennoch liegt die Ein- und Zuteilung der Flächen im Ermessen des Bearbeiters. Bestünde eine genaue Datengrundlage über das Nutzungsverhalten von Flächen, wären die Nachweisberechnungen gemäß DWA-A 102 und BWK-A 3 nachzuvollziehen. Ansonsten fußt sowohl der Emissions- als auch der Immissionsnachweis auf einer unzureichenden Datengrundlage, die möglicherweise zu falschen Ergebnissen geführt hat (siehe 5.6). Es ist wünschenswert, Daten so zu erheben, dass sie eindeutig den Flächentypen gemäß DWA-A 102 zugeordnet werden können. Es besteht also ein großer Datenbedarf an Informationen über die Flächennutzung.

Eine weitere Herausforderung mit dem neuen Parameter ist die Einbindung in bisheriges Simulationsprogramm. In SMUSI 6.1 ist vor allem eine neue Definition von AFS63 notwendig. Um die zulässige AFS63-Entlastungsfracht zu ermitteln, musste das Programm getäuscht werden. Die Ausgabe der A 128-Kenngrößen ist prinzipiell geeignet, die zulässige Entlastungsfracht zu ermitteln (siehe 5.2.3). Da aber die Kenngrößen nur den Stoffparameter CSB abdecken, wurden die Eingabewerte so vertauscht, dass letztendlich die ermittelte CSB-Fracht die eigentlich gesuchte AFS63-Fracht ist. Solch ein Vorgehen ist äußerst fehleranfällig, wenn nicht in allen Dateien diese Änderungen nachgezogen werden. Zudem ist dieses Vorgehen benutzerunfreundlich und umständlich. Zu bemerken ist an dieser Stelle auch, dass SMUSI 6.1 bei diesem Vorgehen die AFS63-Fracht mithilfe der Stoffprozesse von CSB berechnet. Es ist ersichtlich, dass Stoffakkumulation, -transport, -aufteilung und -speicherung von CSB nicht deckungsgleich sind wie die Prozesse von AFS63. So umständlich der Emissionsnachweis ist, umso einfacher gestaltet sich der Immissionsnachweis der AFS63-Fracht. Für den Immissionsnachweis sind lediglich die berechneten Entlastungsfrachten der einzelnen Bauwerke und Flächenangaben zum natürlichen Einzugsgebiet des Gewässers notwendig. Insgesamt ist zu sagen, dass die Praxistauglichkeit der neuen Nachweise ausgebaut werden muss.

7. Vergleich mit der bisherigen Nachweisgröße CSB

Da das Arbeitsblatt DWA-A 102/ BWK-A 2 bei Emissionsbetrachtungen auf das ATV-A 128 aufbaut, gilt es, das ATV-A 128 hinsichtlich seiner Nachweisgröße näher zu beleuchten. Das nachfolgende Kapitel ist sinngemäß aus dem ATV-A 128 (Göttle et al. 1992) entnommen worden, sofern nicht ausdrücklich anders vermerkt.

Mit ATV-A 128 werden Anforderungen an die Misch- und Regenwasserbehandlung durch Entlastungsbauwerke gestellt bezüglich Schmutzrückhaltung, Anordnung, Gestaltung, Bemessung und Betriebsweise.

Der hier herangezogene Parameter für die Belastung eines Oberflächengewässers durch Regenentlastungen ist die Jahresschmutzfracht des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB). Der CSB ist ein Summenparameter, der ein Maß für den organischen Anteil des Abwassers durch deren chemische Oxidation darstellt (Krause 2017, S. 21–22). Eine rechnerisch ermittelte, fiktive CSB-Jahresfracht, welche sich aus der Jahresfracht des unmittelbar entlasteten Mischwassers und aus der errechneten Restfracht des im Klärwerk mitbehandelten Regenwassers zusammensetzt, stellt hierbei das Prüf- und Nachweiskriterium dar.

Beim Nachweisverfahren wird für ein vor der Kläranlage angeordnetes fiktives Zentralbecken das erforderliche Gesamtspeichervolumen ermittelt, wobei im ersten Schritt die zulässige Entlastungsrate berechnet werden muss. Damit die ermittelte zulässige Entlastungsrate eingehalten werden kann, bedarf es eines bestimmten Speichervolumens im Kanalnetz. Wie auch im Regelwerk DWA-A 102/ BWK-A 3 wird das erforderliche spezifische Gesamtspeichervolumen auf $40 \text{ m}^3/\text{ha}$ aus wasserwirtschaftlichen und wirtschaftlichen Gründen limitiert, was bei der Berechnung mit dem realen Datensatz auch überprüft werden muss.

In bisherigen Emissionsberechnungen wird die bisher maßgebliche Kenngröße CSB aus statistischer Auswertung der Kläranlagen-Tagebücher abgeleitet. Der so ermittelte CSB-Wert garantiert, dass ortsspezifische Merkmale mit in die Simulation eingehen. Dies steht im Gegensatz zu dem neuen Parameter AFS63. Dieser wird deutschlandweit einheitlich angesetzt, indem die Flächen in nur 3 Kategorien aufgeteilt werden. Dabei werden örtliche Einflussfaktoren nicht in dem Maße berücksichtigt, wie es eine Berechnung mit gemessenen Werten durchführen kann.

Der CSB soll als Ersatz für Kenngrößen wie die eingetragenen Schmutz- und Schadstoffe, deren Art, Menge, Konzentration sowie die Dauer und Häufigkeit dienen. Es liegt zum Aufkommen von CSB in Dachabflüssen eine geringe Datengrundlage vor, die eine hohe Heterogenität aufweist. Es wird trotzdem davon ausgegangen, dass Dachabflüsse bezogen auf den CSB geringer belastet sind als Verkehrsflächenabflüsse. Der ermittelte Schwerpunktwert der CSB-Konzentration in Dachabflüssen liegt, wie die AFS-Konzentration auch, bei 50 mg/l . Für Verkehrsflächenabflüsse gibt es eine breitere Datengrundlage. Wie bei Dachabflüssen ist eine hohe Heterogenität der Werte festzustellen. Sowohl der Verkehrsflächen- als auch der Mischflächenabfluss weisen eine CSB-Konzentration von 100 mg/l auf, womit die CSB-Konzentrationen deutlich niedriger sind als vergleichsweise die AFS-Konzentrationswerte. Die AFS63-Konzentration des Verkehrsflächenabflusses ist um 20 % höher als die

CSB-Konzentration, während die Konzentration von AFS63 im Mischflächenabfluss um 15 % niedriger als die CSB-Konzentration ist. (DWA 2010, S. 29)

Sauerstoffzehrende Parameter wie der CSB sind grundsätzlich in Prüfverfahren zu berücksichtigen. Sie sind äußerst relevant für die stoffliche Belastung von allen Niederschlagsabflussarten. Dies wird dadurch deutlich, dass die Vorgabe in Oberflächengewässern für beispielsweise CSB sehr niedrig ist: ca. 20 – 25 mg/l. In Oberflächengewässer darf also maximal 25 mg/l CSB vorhanden sein. Das ist die Hälfte von der CSB-Konzentration, die normalerweise im Dachabfluss vorkommt. Dennoch sind die sauerstoffzehrenden Substanzen in einem Laborprüfverfahren nicht unter reproduzierbaren Bedingungen prüfbar. Biologische Abbauprozesse sind nicht vollständig wiederholbar und repräsentativ. Außerdem wurde festgestellt, dass ein Teil der sauerstoffzehrenden Substanzen auch partikulär transportiert wird. Mit einer Feststoffprüfung werden also zum Teil diese sauerstoffzehrenden Parameter mitberücksichtigt. (DWA 2010, S. 81–82)

Sowohl die AFS und damit auch die AFS63 als auch der CSB zeichnen sich durch ihren Summenparametercharakter aus. Der CSB wirkt sich indirekt über die Sauerstoffzehrung auf die Gewässerqualität aus. Daher wird bei der Einordnung der Stoffparameter dem CSB gegenwärtig eine höhere Gesamtrelevanz zugeordnet als den AFS. Trotzdem ist den abfiltrierbaren Feststoffen eine große Bedeutung als Transportmedium vieler Schadstoffe einzuräumen (Welker 2004, S. 355–368). Gerade die Betrachtung von AFS63 statt den AFS allgemein verschärft die zukünftige Relevanz des Feststoffparameters im Gewässer.

8. Diskussion, Zusammenfassung und Ausblick

In Niederschlagsabflüssen sind Feststoffe in großen Mengen zu finden. Feststoffparameter wie der AFS gehören seit langem zu den standardmäßig aufgezeichneten Parametern in den Abflüssen der Siedlungsentwässerung. Umweltrelevant werden sie durch den Transport von vielen Schadstoffen, die an ihnen sorbieren, woraus viele potenzielle negative Wirkungen bei unbehandelter Einleitung in Oberflächengewässer resultieren. In den letzten Jahren wurde der Fokus vor allem auf den feinen Feststoffanteil gelegt: den AFS₆₃. In der Literatur finden sich viele Ergebnisse zu AFS-Werten, die nicht immer eindeutig die Korngrößenklassen festlegen. In vielen Fällen wird die Grenze zum AFS₆₃, welches oft generell AFS_{fein} bezeichnet wird, nicht immer bei einem Wert gelegt: Es werden völlig unterschiedliche Größen angegeben, die sich zwischen kleiner 1.000 μm und kleiner 63 μm befinden. Die verfügbaren Daten beziehen sich in der Regel auf eine Bestimmungsmethode, die mit einem Filter von 0,45 μm arbeitet, jedoch sind auch andere Filtermaterialien zur Bestimmung des AFS₆₃-Anteils zugelassen, welche zu variierenden Ergebnissen führen können. Neben der ungenauen Datengrundlage ist das hohe Datendefizit zum Schadstoffaufkommen an den AFS₆₃ hervorzuheben. Insgesamt ist es dringend notwendig, zukünftig vertiefende Erkenntnisse zum Feststoffaufkommen, Kornverteilung und Schadstoffwirkung zu gewinnen.

Die Festlegung der Konzentrationen und Frachten für AFS₆₃ sind mit Vorsicht zu betrachten, da die Datengrundlage sehr breit und unterschiedlich dokumentiert ist. Dies ist möglicherweise auch ein Grund, warum sich die Schwerpunktwert-Vorschläge über die Zeit geändert haben. Im DBU-Abschlussbericht lag der Schwerpunktorschlag zum AFS₆₃-Parameter für den Dachflächenabfluss bei 60 mg/l, während er im jetzigen Gelbdruck DWA-A 102 bei 50 mg/l liegt. Die Schwerpunktwerte sind also zu hinterfragen, wenn es in der Literatur noch keine Einigung bzw. keine feste Datengrundlage zu geben scheint. In diesem Kontext ist auch die in 5.5 durchgeführte Modellvariantenberechnung zu erwähnen: Bei Berechnung mit den Minimal- bzw. Maximalwerten des vorgegebenen Vertrauensbereiches, aus dem auch der Schwerpunktwert im DWA-A 102 ermittelt wurde, lässt sich feststellen, dass die Festlegung des Schwerpunktwertes einen erheblichen Einfluss auf die zulässige Prüfgröße hat. Die Spanne des zulässigen Frachtaustrags von AFS₆₃ reicht dabei von ca. 1.000 bis zu 13.000 kg/a. Je nach Auswahl eines Schwerpunktwertes aus dem Vertrauensbereich ändert sich die Prüfgröße AFS₆₃-Fracht drastisch. Der Schwerpunktwert bestimmt dadurch, ob weitere Neuerschließungen an das Entwässerungssystem möglich sind. Vor allem in diesem Bereich ist es notwendig, die vorgegebenen Orientierungswerte im DWA-A 102 zu begründen, warum genau diese AFS₆₃-Konzentrationen so festgelegt wurden. Andernfalls ist der gesamte Nachweis in Frage zu stellen, da möglicherweise der zulässige Frachtaustrag mit einem passenderen Wert aus dem Vertrauensbereich weitere Neugebietsanschlüsse zulassen könnte.

Die Verschmutzung des Niederschlagsabflusses wird über ein flächengewichtetes mittleres Stoffpotential bestimmt. Die aus den Konzentrationen abgeleiteten Stoffpotentiale sind außerdem deutschlandweit einheitlich. Dies ist ein weiterer Kritikpunkt, da die Menge der abgespülten Schmutzfrachten abhängig von ortsspezifischen Merkmalen ist. Dazu gehört neben der Intensität des abflusswirksamen Niederschlages vor allem die Oberflächenbeschaffenheit wie die Rauigkeit und Adsorptionsfähigkeit, das Abspülverhalten, unterschiedliche Versiegelungsgrade, Neigungen und Nähe der Flächen zum Kanalnetz. Die angegebenen Frachtwerte sind in diesem Sinne nach Kapitel 8.2.2 des DWA-A 102

lediglich als Rechenwerte zur Verwendung des Arbeitsblattes zu verstehen. Sie stellen damit keine Referenzwerte für einen messtechnischen Nachweis zulässiger Frachtausträge dar.

In bisherigen Immissionsbetrachtungen sind bis dato keine allgemeingültigen AFS-Fracht- oder Konzentrationsgrenzwerte für die Gewässerbelastung angegeben worden. Hier wird im BWK-M 3 darauf verwiesen, Präventivmaßnahmen zur Begrenzung der mit dem Niederschlagswasser eingeleiteten AFS-Frachten und -konzentrationen zu ergreifen. Prinzipiell sind alle Bauwerke so zu bemessen und gestalten, dass ein Rückhalt von Feststoffen begünstigt wird (Borchardt 2001, S. 10–11). An dieser Stelle ist zu erkennen, dass mit dem bisherigen Immissionsnachweis der Schmutzparameter AFS und damit auch der AFS63 eine untergeordnete Größe für das Ergebnis der Nachweisführung darstellte.

Wie auch beim Emissionsteil sind die Frachten aus dem Immissionsteil BWK-A 3 kritisch zu hinterfragen. Die gesamte transportierte natürliche Feststofffracht eines Fließgewässers wird der Fraktion AFS63 zugeordnet. In der Literatur werden 80 % der gesamten Pollen dem AFS63-Anteil zugeordnet, was in etwa 35,5 kg/(ha*a) entspricht (siehe (Dierschke 2014, S. 77)). Dieser Wert ist vergleichsweise nur 12,5 kg/(ha*a) niedriger als die spezifische Vorbelastungsfracht, die im BWK-A 3 zu 48 kg/(ha*a) angesetzt wird. Die Vorbelastungsfracht wird mit 15 mg/l berechnet. Dabei wird diese Konzentration als Grenze zwischen dem guten und mäßigen Zustand eines Gewässers bezeichnet. Die Konzentration ermittelt sich laut BWK-A 3 aus den „[...] bisherigen Ergebnissen des WRRL-konformen Gewässermonitoring [...]“ (DWA 2016, S. 147). Hier stellt sich die Frage, wie dieses Monitoring durchgeführt und die Konzentration ermittelt wurde. Es finden sich unklare Aussagen im Text, die nur schwer bis kaum nachvollziehbar sind. Die Ergebnisse des Monitorings sind offen zu legen und die Vorbelastungskonzentration direkt daraus abzuleiten. Ferner wird zur Berechnung der spezifischen Grenzfracht 30 mg/l angesetzt, wobei im Passus zur Vorbelastungsfracht die besagten 15 mg/l als Grenze zwischen gutem und mäßigem Zustand bezeichnet wurden. Die Werte hierfür entstammen aus dem Projekt O 3.12 des Länderfinanzierungsprogramms (2014). Die abfiltrierbaren Stoffe gehören demnach zu den allgemeinen chemischen und physikalisch-chemischen Parametern (ACP)-Kandidaten, die keine ausreichende Datengrundlage für eine gesicherte Ableitung von Orientierungswertvorschlägen vorweisen können. Die ermittelbaren Korrelationen zur Biologie aus den auswertbaren Datengrundlagen wurden als nicht hinreichend eingestuft, um daraus Orientierungswerte abzuleiten. Jedoch wird dieser Gruppe ein hohes Belastungspotenzial für den ökologischen Gewässerzustand beigemessen. Es besteht ein allgemeiner Konsens, dass feinere Korngrößenfraktionen belastender sind als gröbere. Dennoch sind dazu keine Werte vorhanden, da zur Festlegung der Werte keine ausreichend dokumentierten Messungen hinsichtlich der Korngrößen vorlagen. Vor allem in Anbetracht der hier behandelten AFS63-Fraktion ist es notwendig, die Belastung durch die feinen Feststoffanteile genauer zu untersuchen und daraus die Frachten festzulegen (LAWA 2014, S. 89–90).

Wesentliche Aufgabe dieser Arbeit war die Umsetzung des neuen Regelwerks bezüglich des Emissions- und Immissionsnachweises. An der praktischen Umsetzung der emissionstechnischen Anforderungen sind wesentliche Kritikpunkte zu erwähnen. Im gängigen Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI sind einige Umwege zu gehen, um an das gewünschte Ergebnis zu gelangen. Auf jeden Fall müssen Änderungen an den Eingabe- und Ausgabeoptionen in der SMUSI vorgenommen werden.

Tatsächlich wäre für das Fallbeispiel „Kirdorf“ sowohl der bisherige Emissionsnachweis gemäß SMUSI-Erlass als auch der Nachweis gemäß DWA-A 102/BWK-A 3 kompatibel hinsichtlich ihres Ergebnisses. Es

muss zusätzlich aufgezeigt werden, dass das Resultat auch im Allgemeinen für alle Fälle zutrifft. Die Anforderungen des bisherigen Emissionsnachweises wurden deutlich eingehalten. Das gleiche Resultat findet sich auch beim Nachweis aus dem Gelbdruck. Der AFS63-Parameter scheint also eine gute Möglichkeit zu sein, neben dem CSB-Parameter die akkumulierenden Wirkungen der partikulär transportierten Feststoffe zu berücksichtigen. Der sauerstoffzehrende Charakter des CSB-Parameters wird in den Nachweisen aus dem DWA-A 102 beachtet, indem der CSB für einen etwaigen Starkverschmutzerzuschlag mitgeführt wird. Trotzdem sind weiterhin intensivere Untersuchungen zur AFS63-Fraktion notwendig.

9. Literaturverzeichnis

Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (2006): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbermaterial. Online verfügbar unter http://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/betrieblicher_gewaesserschutz/Publikationen.ass?etref=dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/BA_GA_berbro_gbl070.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2017.

Barjenbruch, Matthias; Heinzmann, Bernd; Kober, Paul; Post, Mike; Remy, Christian; Roualt, Pascale et al. (2016): Abschlussbericht: Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen. Projekt im Berliner Umweltentlastungsprogramm UEPII/2. Projekt-Nr.: 11315 UEPII/2, S. 1–205. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2936.pdf>, zuletzt geprüft am 28.07.2017.

Borchardt, Dietrich (2001): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse [Verantw. Hrsg. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. ...wurde erarb. von der BWK-Arbeitsgruppe 2.3 "Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse" unter Mitwirk. von Borchardt, Dietrich. Düsseldorf: BWK.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hg.) (2014): Korrelation zwischen biologischen Qualitätskomponenten und allgemeinen chemisch- physikalischen Parametern in Fließgewässern. Projekt O 3.12 des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2012. Essen/Velbert, zuletzt geprüft am 27.09.2017.

Busch, Dieter; Furtmann, Klaus; Schneiderwind, Annette, Zyuzina, Irina; Reupert, Rolf; Sielex, Klaus (2007): Einfluss Probenahme und Probenvorbereitung auf die Ergebnisse bei der Bestimmung ausgewählter prioritärer Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie, S. 18–158. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3258.pdf>, zuletzt geprüft am 05.07.2017.

Deletic, Ana; Orr, David W. (2005): Pollution Buildup on Road Surfaces. In: *J. Environ. Eng.* 131 (1), S. 49–59. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:1(49).

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (Hg.) (2010): Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren. Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az: 26840-23 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Unter Mitarbeit von Theo.G Schmitt, Welker, Antje, Dierschke, Martina, Mathias Uhl, Christian Maus und Frank Remmler. Osnabrück.

Dierschke, Martina (2014): Methodischer Ansatz zur Quantifizierung von Feinpartikeln (PM63) in Niederschlagsabflüssen in Abhängigkeit von der Herkunftsfläche, S. 4–141.

Duden (2017a): ge-ring-Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft. Hg. v. Duden. Online verfügbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/gering>, zuletzt aktualisiert am 28.08.2017, zuletzt geprüft am 28.08.2017.

Duden (2017b): mä-ßig - Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme, Herkunft. Hg. v. Duden. Online verfügbar unter <http://www.duden.de/rechtschreibung/maeszig>, zuletzt aktualisiert am 28.08.2017, zuletzt geprüft am 28.08.2017.

DWA (2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. April 2003. Hennef: ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V (ATV-DVWK-Regelwerk Arbeitsblatt, A 198), zuletzt geprüft am 24.09.2017.

DWA (2016): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Entwurf Oktober 2016. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall (DWA-Regelwerk, A 102).

Fuchs, S.; Lambert, B.; Grotehusmann, D. (2010): Neue Aspekte in der Behandlung von Siedlungsabflüssen. In: *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung (Umweltwiss Schadst Forsch)* 22 (6), S. 661–667. DOI: 10.1007/s12302-010-0161-2.

Fuchs-Hanusch, Daniela; Gruber, Günter; Kauch, Ernst Peter; Gernedel, Heinrich (2014): Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft. [Trinkwasser, Abwasser, Abfall und Recycling]. Wien: Manz.

Göttle; Brunner; Durchschlag; Freund; Geiger; Gniosdorsch et al. (1992): ATV-A 128. Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, zuletzt geprüft am 27.08.2017.

Gruber, Peter (1981): Der chemische und mineralogische Aufbau der Stäube im Linzer Raum. In: *Naturkundliches Jahrbuch der Stadt Linz* (27), S. 169–281. Online verfügbar unter http://www.zobodat.at/pdf/NKJB_27_0169-0281.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2017.

Hahn, H. H.; Xanthopoulos, C. (1993): Anthropogene Schadstoffe auf Straßenoberflächen und ihr Transport mit dem Niederschlagsabfluß. Abschlußbericht. Karlsruhe (Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen, Verbundprojekt; Phase I / Arbeitsgruppe Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer. Projektleitung und -koordinierung: Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe ; Teilprojekt 2).

Helmreich, Brigitte (2010): Stoffliche Betrachtungen der dezentralen Niederschlagswasserbehandlung. Zugl.: München, Techn. Univ., Habil.-Schr. Garching: Ges. zur Förderung des Lehrstuhls für Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Techn. Univ. München (Berichte aus der Siedlungswasserwirtschaft, Nr. 199).

Herrera Environmental Consultants (2007): Untreated Highway Runoff in Western Washington. Online verfügbar unter https://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/B947A199-6784-4BDF-99A7-DD2A113DAB74/0/BA_UntreatedHwyRunoffWestWA.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2017.

Hessen Mobil - Straßen- und Verkehrsmanagement (2017): Straßenverkehrszählung 2015. Online verfügbar unter <https://mobil.hessen.de/%C3%BCber-uns/downloads-formulare/stra%C3%9Fenverkehrsz%C3%A4hlung-2015>, zuletzt aktualisiert am 22.08.2017, zuletzt geprüft am 28.08.2017.

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: WRRL - Legende Grundlagendaten. Oberirdische Gewässer, Grundwasser. Online verfügbar unter http://wrrl.hessen.de/wrrl/doku/wrrl_Legende_statistisch.pdf, zuletzt geprüft am 30.08.2017.

Huber, Maximilian; Welker, Antje; Helmreich, Brigitte (2016): Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff. Occurrence, influencing factors, and partitioning. In: *The Science of the total environment* 541, S. 895–919. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.033.

Kayhanian, Masoud; Fruchtmann, Boaz D.; Gulliver, John S.; Montanaro, Comasia; Ranieri, Ezio; Wuertz, Stefan (2012): Review of highway runoff characteristics. Comparative analysis and universal implications. In: *Water research* 46 (20), S. 6609–6624. DOI: 10.1016/j.watres.2012.07.026.

Kayhanian, Masoud; Singh, Amardeep; Suverkropp, Claus; Borroum, Steve (2003): Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations. In: *J. Environ. Eng.* 129 (11), S. 975–990. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2003)129:11(975).

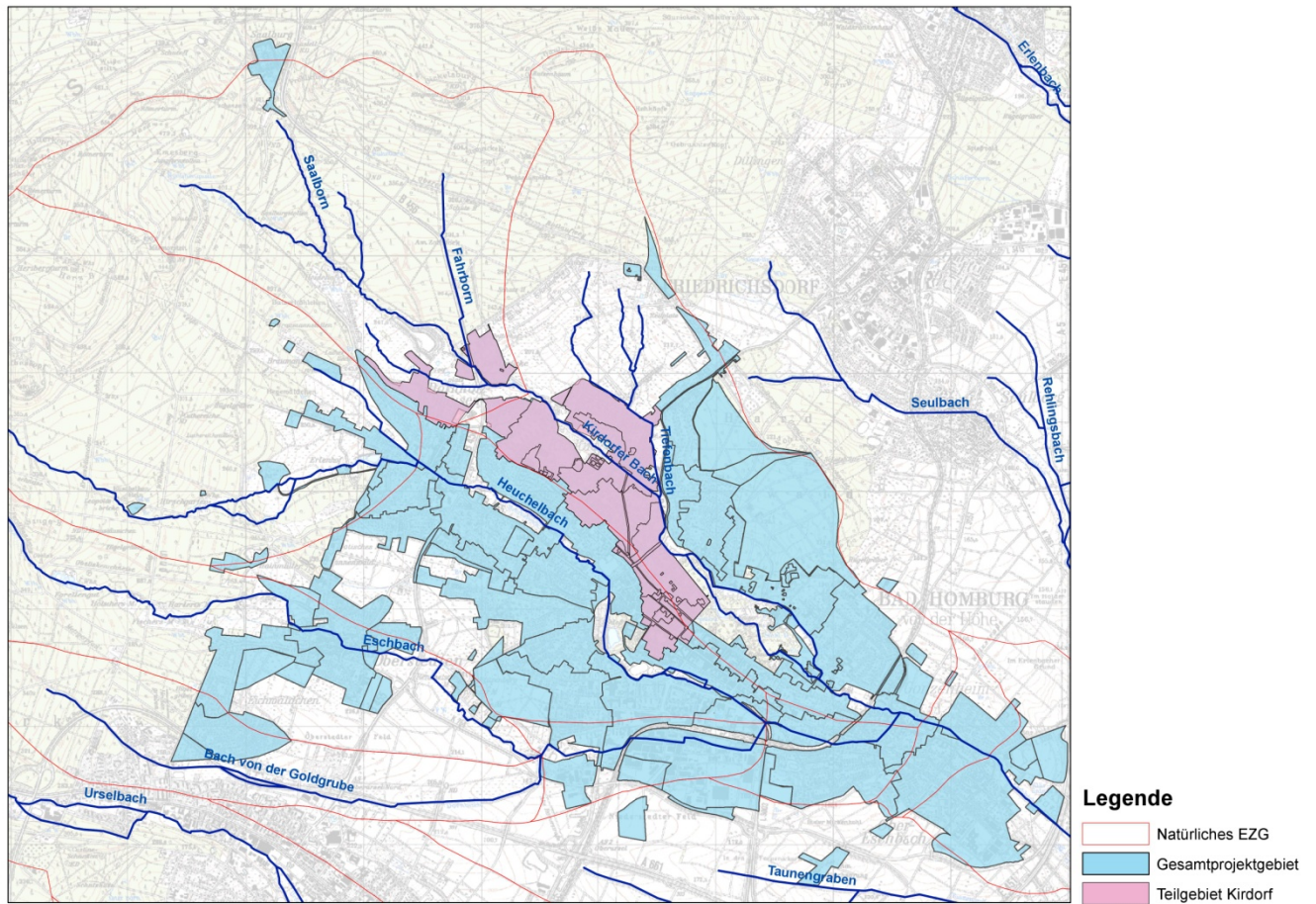
Krause, Leonie (2017): Einfluss der Mischwasserentlastungen und deren Auswirkungen auf die Gewässergüte am Beispiel des Nidda-Einzugsgebiets. Bachelorarbeit. TU Darmstadt, Darmstadt. IWAR, zuletzt geprüft am 27.08.2017.

Magistrat der Stadt Bad Homburg (2015): Aktualisierung der Schmutzfrachtberechnung für die Entlastungsanlagen im Einzugsgebiet der Kläranlage Bad Homburg v. d. Höhe/ Ober-Eschbach. Darmstadt, zuletzt geprüft am 23.09.2017.

-
- Mehler, Ralf; Leichtfuß, Armin (1998): Dokumentation des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI . Version 4.0, 2. Auflage.
- Möller, Detlev (2009): Feinstaubbelastung: Ursachen und Gesundheitsgefährdung. In: *Forum der Forschung* (22), S. 117–126. Online verfügbar unter https://www-docs.b-tu.de/ag-luftchemie-luftreinhaltung/public/pdf_files_mix/Feinstaub_BTU_2009.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2017.
- Reußner, Frank; Muschalla, Dirk (2012a): Dokumentation des Schmutzfrachtmodells SMUSI. Teil I - Theoretische Grundlagen. Darmstadt, zuletzt geprüft am 06.09.2017.
- Reußner, Frank; Muschalla, Dirk (2012b): Dokumentation des Schmutzfrachtmodells SMUSI - Version 6.1. TEIL II - Benutzerhandbuch. Hg. v. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Darmstadt, zuletzt geprüft am 28.08.2017.
- Sartor, James D.; Boyd, Gail B.; Agardy, Franklin J. (1974): Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants. In: *Journal (Water Pollution Control Federation)* 46 (3), S. 458–467.
- Schaaf, Otto (2016): Aufruf zur Stellungnahme: DWA-A 102. Hg. v. 3R-Online. Online verfügbar unter <https://www.3r-rohre.de/aktuell/normen-gesetze/19-10-2016-aufruf-zur-stellungnahme-dwa-a-102/>, zuletzt aktualisiert am 19.10.2016, zuletzt geprüft am 11.07.2017.
- Umweltbundesamt: EPA-Liste – Umweltprobenbank des Bundes. Online verfügbar unter <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/13446>, zuletzt geprüft am 18.07.2017.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/polyzyklische_aromatische_kohlenwasserstoffe.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2017.
- Viklander, Maria (1998): Particle Size Distribution and Metal Content in Street Sediments. In: *Journal of Environmental Engineering (J. Environ. Eng.)* 124 (8), S. 761–766. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1998)124:8(761).
- Wäber, Monica; Pompe, Frank (2017): PAK-Immissionswirkungen in Bayern. Langzeituntersuchung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe mit Biomonitoring-Verfahren. Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Online verfügbar unter [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000004?SID=1924843770&ACTIONxSESSxS HOWPIC\(BILDxKEY:%27lfu_luft_00197%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000004?SID=1924843770&ACTIONxSESSxS HOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_luft_00197%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)), zuletzt geprüft am 17.09.2017.
- Welker, Antje (2004): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitation. Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- Zentrale Kompetenzstelle für Geoinformation: www.geoportal.hessen.de | GDI-Hessen. Hg. v. Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation. Hessen. Online verfügbar unter <http://www.geoportal.hessen.de/portal/gdi-hessen.html>, zuletzt geprüft am 22.09.2017.

10. Anhang

A.1 Karte zum Gesamtprojekt Bad Homburg und Teilprojekt Kirdorf



A.2 BFIK-Datensatz

Allgemeine Angaben (*.ALL)

Hauptüberschriften : Magistrat - Stadt Bad Homburg
----- : SMUSI-Aktualisierung 2015
: Prognose 2025, optimiert
Bilanzzeitraum

SimBeginn - SimEnde : 01.01.1968 00:00 - 31.12.1968 23:55

Anfangsbedingungen

Beckenfuellung (%) : 0
Anfangsverlust (%) : 100

Simulationsparameter

Hessen (J/N) : N
Rueckstau (J/N) : N
Urbane Verdunstung (J/N) : N
echte Regenreihe (J/N) : N

Regenreihenzuordnung

1 : C:\SMUSI6\REGEN\REGEN725

Muldenverluste
Neigungsgruppe (-) : NG 1 NG 2 NG 3 NG 4
Muldenverluste (mm) : 1.5 1 .5 .5

Absetzwirkung von AFS in Becken
Wirkungsgrad (-) : schl mitt gut hoch
Absetzwirkung (%) : 5 15 25 60

An AFS gebundene Absetzwirkungen
Stoff (-) : AFS BSB CSB TOC NH4-N PO4-P
Absetzung rel. zu AFS (%) : 100 35 30 0 0 0

Stoffpotentialdefinition Typ : Stoffpotential kg/ (ha (Ared) *a)
Nr : AFS BSB CSB TOC NH4-N PO4-P
SMUSI-Standard 0 : 1 60 770 200 6 6.5
SMUSI-Kategorie 1 : 1 60 280 200 6 6.5
SMUSI-Kategorie 2 : 1 60 530 200 6 6.5
SMUSI-Kategorie 3 : 1 60 760 200 6 6.5

Zentralbecken nach A128 (J/N) : N
Beckenvolumen (cbm) : 1133
Maximaler KLA-Zufluss (l/s) : 270

Ausgabeoptionen

Trockenwettergang an KLA (J/N) : J
Einzelereignisse (J/N) : J
Ereignisse/ Entlastung (J/N) : N
Wellenausgabe (J/N) : N
CSV-Format (J/N) : N
Schmutzstoff (1-6) : 3
Bauwerksbuch (J/N) : N
Animation (J/N) : N
A128-Kenngrößen (J/N) : J

Aussengebiete (*.AUS)

=====

Bez.	Gebietskenngrößen							
	A	VG	Ho	Hu	L	CN	qB	KJ R
-	ha	-	muNN	muNN	m	-	l/sqkm	- -
A08	1.1	.03	200	196	200	69	2	1 1

Becken (*.BEK)

=====

Bez.	Typ	WMB	Geomet.	Kennlinien				I	I	I
		Typ	H-Sohl	h	Qab	Qku	Qbu	V	IKl.	ITyp
-	-	-	[mueNN]	m	l/s	l/s	l/s	cbm	-	-
BFIK	DLB N		133.6		270	9999		930	g	I l I
				0	662	0	0	0	0	I I
				1	662	0	0	616	I	I I
				2	662	0	0	1233	I	I I
				3	662	0	0	1850	I	I I
				3.05	662	450	0	1880	I	I I
				3.1	662	1274	0	1910	I	I I
				3.15	662	2340	0	1940	I	I I
				3.2	662	3603	1	1970	I	I I

Einzeleinleitungen (*.EIN)

=====

Bez.	Trockenwetter-			
	abfluss			
	Qe	KT	Qf	KJ
-	l/s	-	l/s	-
E01	.33	10		
E04	.38	7		
E09	.65	7		

Sammler (*.SAM)

=====

I	Bez.	I	I	Sammlerdaten				I	Hoehenkoten		IBerI		
I		I	dtf I Typ	L	D,maxB	Avoll	kb	I	H_unten	H_oben	ITypI		
I	-	I	min I	-	m	m	qm	mm	I	mueNN	mueNN	I	I
I	S114	I	I	1	515.25	.8		1.5	I	196.71	213.53	I	2 I
I	S116	I	I	1	415.06	.5		1.5	I	198.88	210.82	I	2 I
I	D3	I	I	1					I			I	1 I
I	D5	I	I	1					I			I	1 I
I	S122	I	I	1	231.43	1.7		1.5	I	176.32	177.32	I	2 I
I	D6	I	I	1					I			I	1 I
I	D7	I	I	1					I			I	1 I
I	S115	I	I	1	180.52	.6		1.5	I	197.32	198.84	I	2 I
I	S121	I	I	1	9.8	1.5		1.5	I	175.99	176.32	I	2 I
I	SY04	I	I	1					I			I	1 I
I	S113	I	I	1	288.03	1.2		1.5	I	132.85	196.68	I	2 I
I	SY03	I	I	1					I			I	1 I
I	S112	I	I	1	90.53	1.2		1.5	I	191.37	194.12	I	2 I
I	S111	I	I	1	171.8	1.2		1.5	I	189.43	191.32	I	2 I
I	SB01	I	I	1	53.41	1.4		1.5	I	188.66	189.11	I	2 I
I	S126	I	I	1	3.72	.3		1.5	I	187.34	187.48	I	2 I
I	S125	I	I	1	308.47	.9		1.5	I	181.9	187.07	I	2 I
I	S124	I	I	1	284.01	1		1.5	I	178.26	181.9	I	2 I
I	S123	I	I	1	150.96	1.1		1.5	I	175.99	178.26	I	2 I
I	SR02	I	I	1	26.36	1.7		1.5	I	175.78	175.99	I	2 I
I	S135	I	I	1	170.6	.9		1.5	I	174.08	174.9	I	2 I
I	S134	I	I	1	59.42	.9		1.5	I	173.41	174.03	I	2 I
I	S133	I	I	1	366.09	1		1.5	I	167.96	173.41	I	2 I
I	S132	I	I	1	124.25	1.1		1.5	I	166.66	167.93	I	2 I
I	S131	I	I	1	113.94	1.2		1.5	I	165.35	166.6	I	2 I
I	SB02	I	I	1	183.46	1.4		1.5	I	163.89	165.17	I	2 I

Konzentrationen ausgewählter Stoffe im Schmutzwasserabfluss (*.SMZ)

Bez.	mittlere Stoffkonzentration des Schmutzwasserabflusses						
	AFS KT	BSB KT	CSB KT	TOC KT	NH4-N KT	PO4-P KT	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
E01	0	439	500	250	44	11	
E04	0	439	500	250	44	11	
E09	0	439	500	250	44	11	
F04	0	439	500	250	44	11	
F04K2	0	439	500	250	44	11	
F04K3	0	439	500	250	44	11	
F05A	0	439	500	250	44	11	
F05B	0	439	500	250	44	11	
F06	0	439	500	250	44	11	
F06K2	0	439	500	250	44	11	
F06K3	0	439	500	250	44	11	
F07	0	439	500	250	44	11	
F07K2	0	439	500	250	44	11	
F07K3	0	439	500	250	44	11	
F08	0	439	500	250	44	11	
F08K2	0	439	500	250	44	11	
F09	0	439	500	250	44	11	
F09K2	0	439	500	250	44	11	
F10	0	439	500	250	44	11	
F10K2	0	439	500	250	44	11	
F10K3	0	439	500	250	44	11	
F11	0	439	500	250	44	11	
F11K2	0	439	500	250	44	11	
F11K3	0	439	500	250	44	11	
T07	0	439	500	250	44	11	

 ** Abflüsse und Schmutzfrachten **
 ** an den **
 ** Entlastungsbauwerken **

Magistrat - Stadt Bad Homburg
 SMUSI-Aktualisierung 2015
 Prognose 2025, optimiert

Bilanzierungszeitraum: 01.01.1968 00:00 - 31.12.1968 23:55

Anfangsbedingungen

Beckenfüllung (%) : 0
 Anfangsverlust (%) : 100

Muldenverluste nach NG (ATV-A118)

Neigungsgruppen (-) : NG 1 NG 2 NG 3 NG 4
 Muldenverluste (mm) : 1.50 1.00 0.50 0.50

Niederschlagskenngrößen

repräsentative Regenreihen
 Regenreihennummer (-) : RRNR 1 Mittel
 Jahresniederschlagshöhe (mm) : 725.0 725.00
 Niederschlagshöhe (Bilanz) (mm) : 572.6 572.55
 Niederschlagsdauer (Bilanz) (h) : 471.4 471.4

Absetz- und Reinigungswirkungen

Absetzklassen (-) : s m g h
 Absetzwirkung fuer AFS (%) : 5.0 15.0 25.0 60.0
 Stoff : AFS BSB5 CSB TOC NH4-N PO4-P
 Absetzwirkung bezogen auf AFS (%) : - 35.0 30.0 0.0 0.0 0.0
 TW-Ablaufkonzentrationen der KLA (mg/l) : 50.0 15.0 60.0 20.0 10.0 3.0

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

Seite 2
SMUSI 6.1

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Zulauf- und Entlastungskenngrößen *

Z U L A U F										E N T L A S T U N G									
Bauwerk		Zahl	Dauer	Volumen			Zahl	Dauer	Volumen										
Bez.	Typ	n	TQr	VQt	VQr	VQm	KU	BU	Bek	KU	BU	Bek	I(Drossel)	KU	BU	Summe	eo		
-	-	-	h	Tsd.cbm	Tsd.cbm	Tsd.cbm	-	-	-	h	h	h	Tsd.cbm	Tsd.cbm	Tsd.cbm	Tsd.cbm	%		
BFIK	DLB N	120	535	57.428	319.287	376.715	41	1	85	42.1	0.2	191.0	(200.529)	116.333	2.425	118.758	37		
Summe				57.428	319.288	376.716							0.000	116.333	2.425	118.758	37		
KLA		120	535	57.428	200.530	257.958													
Summe TW				8249	899.747														

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

Seite 3
SMUSI 6.1

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Maximalabflüsse in den Auslasskanälen *

Bauwerk		M A X I M A L W E R T E			I M A U S L A S S K A N A L							V o l u m e n		V>Vm
Bez.	Typ	Anzahl	Qmax	Datum	Qm	Q>Qm	Dmax	Datum	Dm	D>Dm	Vmax	Datum	Vm	V>Vm
-	-	-	cbm/s	-	cbm/s	-	h	-	h	-	Tsd.cbm	-	Tsd.cbm	-
BFIK	DLB N	41	13.735	15- 6-1968	1.579	14	2.9	2-10-1968	1.0	17	21.821	15- 6-1968	2.897	12

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

Seite 4
SMUSI 6.1

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Schmutzfrachten ausgewählter Stoffe *

Bauwerk		Z u l a u f					E n t l a s t u n g					I s p e z . E n t l a s t u n g				
Name	Bez.	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N PO4-P	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N PO4-P	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N PO4-P
		SFz	10**	0	kg		SFe	10**	0	kg		SFe(ges)/Au(ges)	kg/ha			
Fiktives Zentralbecke	BFIK	g	65216943985123065	2173	866		18	1953	7386	5110	214	171	0	24	90	63
Summe (Fracht)			64212983940123065	2173	866		18	1953	7386	5110	214	171	0	24	90	63
Entnommene Frachten			0	0	0	0	0									
Klaieranlage (Regen)	KLA		46193453201517955	1960	695		112898	386915478	5159	2580	774	158	47	189	63	31.6
(Trock)							144987134965398517995	8997	2699			550	165	661	220110.1	33.0

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

Seite 5
SMUSI 6.1

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Schmutzkonzentrationen ausgewählter Stoffe *

Bauwerk		Z u l a u f					E n t l a s t u n g					I s p e z . E n t l a s t u n g				
Name	Bez.	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N PO4-P	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N PO4-P	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N PO4-P
		Cz	mg/l	(Minimum)			Ce	mg/l	(Maximum)			Ce	mg/l	(Mittel)		
		Cz	mg/l	(Mittel)			Cp	mg/l	(Mittel)			Ce	mg/l	(Mittel)		
Fiktives Zentralbecke	BFIK	g	0	13	60	40	1	1	0	33	79	52	4	2	0	16

* Wirkung der Mischwasserbehandlung *																								

I	I					I					I							I						
I	Bauwerk		I	Entlastungsfracht ohne MB					I	Entlastungsfracht mit MB					I	Wirkungsgrad der MB							I	
I	Bez.	WMB-Typ	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	I
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I	I					I					I							I						
I																								

99

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

Seite 7
SMUSI 6.1

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Kenngrößen der Trenngebiete *

I	Bez.	K	Flaechen	Einwohner		Volumina		Frachten															
I		I	Ages	VG	EW	mxQt	I	V-Netz	V-VorFl	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P
I		I	ha	-	-	1/s	I	Tsd.cbm	Tsd.cbm	I	Fracht in Kanalnetz in 10**~1 kg					I	Fracht in Vorfluter in 10**~1 kg						
I		I					I			I							I						
I	T07	I	6.6	0.40	269	1.0	I	2.055	10.462	I	0	5390	6139	3069	540	135	I	21	1269	5922	4230	127	137
I		I					I			I							I						
I	Summen	I	6.6	0.40	269	1.0	I	2.055	10.462	I	0	5390	6139	3069	540	135	I	21	1269	5922	4230	127	137
I		I					I			I							I						

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

Seite 8
SMUSI 6.1

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* AL28-Kenngrößen *

I					I						I									I		
I	Bauwerk		I		I	Volumen + Abfluesse					I	CSB-Frachten + CSB-Konzentrationen								I	Mischungsverh	
I	Name	I	Bez.	Typ	I	V	Vmin	Qd	Qkrit	Qdmin	I	SFe	1.15*SFe	Ct	Cr	Cm	Ce	I	vorh	erf.		
I					I						I									I		
I					I	cbm	cbm	l/s	l/s	l/s	I	kg/a	kg/a	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	I	-	-		
I					I						I									I		
I	Fiktives Zentralbecke	I	BFIK	DLB N	I	930	474	270	1256	65	I	7386		346	59	106	62	I	48.65	7.00		
I					I						I									I		
I					I						I									I		
I	Summe	I			I	930	474				I	7386	7386	346				62	I			
I					I						I									I		

Systemlogik (*.SYS)
 VERSION 5.1
 =====

S y s t e m			Zulauf			Ablauf		I E I W I R I B I								
Beschreibung	ITypI	Nr.	I 1	2	3	I 1	2	I	E	I	W	I	R	I	B	I
Sportzentrum	I F I	F04	I			I S116		I	I	I	I	I				
Nesselbornfeld	I F I	F05A	I			I S114		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F05B	I			I S113		I	I	I	I	I				
Hollandsiedlung	I F I	F06	I			I SB01		I	I	I	I	I				
natürl. Fläche	I A I	A08	I			I S122		I	I	I	I	I				
Kirdorf 2	I F I	F08	I			I S122		I	I	I	I	I				
Friedensstrasse	I T I	T07	I			I S124		I	I	I	I	I				
Kirdorf 3	I F I	F09	I			I S134		I	I	I	I	I				
Innenstadt 1	I F I	F10	I			I SY04		I	I	I	I	I				
Innenstadt 2	I F I	F11	I			I SY03		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F04K2	I			I S116		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F04K3	I			I S116		I	I	I	I	I				
WG Oberste Gaerten 2	I E I	E01	I			I D3		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F06K2	I			I D3		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F06K3	I			I D3		I	I	I	I	I				
Kirdorf 1	I F I	F07	I			I D5		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F07K2	I			I D5		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F07K3	I			I D5		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F08K2	I			I S122		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F09K2	I			I S134		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F10K2	I			I D6		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F10K3	I			I D6		I	I	I	I	I				
Einzeleinleiter	I E I	E09	I			I D6		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F11K2	I			I D7		I	I	I	I	I				
urb. Fläche	I F I	F11K3	I			I D7		I	I	I	I	I				
Rindsches Bürgerstift	I E I	E04	I			I D7		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S114	I F05A			I S113		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S116	I F04	F04K2	F04K3	I S115		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	D3	I E01	F06K2	F06K3	I SB01		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	D5	I F07	F07K2	F07K3	I SR02		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S122	I A08	F08	F08K2	I S121		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	D6	I E09	F10K2	F10K3	I SY04		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	D7	I E04	F11K2	F11K3	I SY03		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S115	I S116			I S113		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S121	I S122			I SR02		I	I	I	I	I				
Nullsammler	I S I	SY04	I F10	D6		I SY03		I	I	I	I	I				
S. Schneidhainer Str.	I S I	S113	I F05B	S114	S115	I S112		I	I	I	I	I				
Nullsammler	I S I	SY03	I F11	D7	SY04	I SB02		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S112	I S113			I S111		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S111	I S112			I SB01		I	I	I	I	I				
Zulauf B01	I S I	SB01	I F06	D3	S111	I S126		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S126	I SB01			I S125		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S125	I S126			I S124		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S124	I S125	T07		I S123		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S123	I S124			I SR02		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	SR02	I D5	S121	S123	I S135		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S135	I SR02			I S134		I	I	I	I	I				
S. Landgrafenstr.	I S I	S134	I F09	F09K2	S135	I S133		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S133	I S134			I S132		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S132	I S133			I S131		I	I	I	I	I				
Sammler / Gerinne	I S I	S131	I S132			I SB02		I	I	I	I	I				
Zulauf B02	I S I	SB02	I S131	SY03		I BFIK		I	I	I	I	I				
Fiktives Zentralbecke	I B I	BFIK	I SB02			I KLA		I	I	I	I	I				
Klaieranlage	I K I	KLA	I BFIK			I		I	I	j	I	I				

SMUSI 6.1

 ** Trockenwettergaenge an der Klaieranlage **

Magistrat - Stadt Bad Homburg
 SMUSI-Aktualisierung 2015
 Prognose 2025, optimiert

I	Zeit	I	Abfluss	I	Konzentrationen					I
I	I	I	I	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P
I	h	I	l/s	I	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
I	0 - 1	I	27.0	I	0	287	327	164	29	7
I	1 - 2	I	24.8	I	0	273	311	156	27	7
I	2 - 3	I	23.3	I	0	262	299	149	26	7
I	3 - 4	I	21.9	I	0	252	287	143	25	6
I	4 - 5	I	21.3	I	0	247	281	141	25	6
I	5 - 6	I	21.1	I	0	245	279	140	25	6
I	6 - 7	I	24.9	I	0	277	315	158	28	7
I	7 - 8	I	27.7	I	0	292	332	166	29	7
I	8 - 9	I	32.7	I	0	315	358	179	32	8
I	9 - 10	I	35.4	I	0	324	369	184	32	8
I	10 - 11	I	37.0	I	0	329	374	187	33	8
I	11 - 12	I	37.1	I	0	329	374	187	33	8
I	12 - 13	I	36.1	I	0	326	371	185	33	8
I	13 - 14	I	35.0	I	0	322	367	183	32	8
I	14 - 15	I	34.4	I	0	320	364	182	32	8
I	15 - 16	I	34.0	I	0	319	363	181	32	8
I	16 - 17	I	33.1	I	0	315	359	180	32	8
I	17 - 18	I	32.2	I	0	312	355	178	31	8
I	18 - 19	I	32.3	I	0	312	356	178	31	8
I	19 - 20	I	32.7	I	0	314	357	179	31	8
I	20 - 21	I	33.0	I	0	315	359	179	32	8
I	21 - 22	I	33.2	I	0	316	360	180	32	8
I	22 - 23	I	29.1	I	0	297	338	169	30	7
I	23 - 24	I	28.0	I	0	293	333	167	29	7
I	I Mittel	I	30.3	I	0	304	346	173	30	8
I	I Summen	I	2619	I	0	796	907	453	80	20
I	I Einheit	I	cbm	I	kg	kg	kg	kg	kg	kg

Es werden nur die Dateien aufgeführt, die anders als der BFIK-Datensatz sind.

Becken (*_BEK)

Bes.		Typ	WMB	Geomet.	Kennlinien				IABsIBerI				Q-Drossel als f(t)	
		Typ		H-Sohl	h	Qab	Qku	Qbu	V	IKL.ITypI	akt	dQ/dt	Qab_max	
-		-	-	[mueNN]	m	l/s	l/s	l/s	cbm	-	-	-	1/(s^4s)	l/s
B01		FGB H		187.53							3			
					0	85	0	0	0					
					.01	85	0	0	.11					
					1.43	85	0	0	225.11					
					1.57	85	0	0	246.91					
					1.71	85	0	0	269.51					
					1.84	85	0	0	2931					
					1.98	85	0	0	317.51					
					2.11	85	0	0	343.91					
					2.25	85	0	0	370.21					
					2.38	85	0	0	3971					
					2.7	85	0	0	461.81					
					2.86	85	0	1285	514.41					
					2.95	85	0	2570	545.61					
					3.02	85	0	3855	570.91					
					3.09	85	0	5140	5951					
					3.16	85	0	6425	615.81					
					3.21	85	0	7710	635.51					
B02		DLB H		162.45							3			
					0	180	0	0	0					
					.01	180	0	0	.11					
					.14	180	0	0	62.11					
					.27	180	0	0	125.11					
					.41	180	0	0	189.51					
					.55	180	0	0	255.31					
					.68	180	0	0	322.71					
					.82	180	0	0	391.51					
					.95	180	0	0	461.71					
					1.09	180	0	0	532.81					
					2.98	180	0	0	1522.61					
					3.12	180	2300	0	1612.51					
					3.2	180	4600	0	1666.31					
					3.27	180	6900	0	1710.11					
					3.34	180	9200	0	1749.41					
					3.39	180	11500	0	1786.31					
					3.45	180	13800	0	1819.91					
					3.5	180	16100	0	1852.31					
					3.58	180	20199	0	1906.11					

=====

Eingabedatei fuer Drosselkennlinien (*.DRO)

SMUSI 6.1

** Abfluesse und Schmutzfrachten **
** an den **
** Entlastungsbauwerken **

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert

=====

Bilanzierungszeitraum:	01.01.1968 00:00 - 31.12.1968 23:55
------------------------	-------------------------------------

=====

Anfangsbedingungen

Beckenfuellung	(%) :	0
Anfangsverlust	(%) :	100

Muldenverluste nach NG (ATV-A118)

Neigungsgruppen	(-) :	NG 1	NG 2	NG 3	NG 4
Muldenverluste	(mm) :	1.50	1.00	0.50	0.50

Niederschlagskenngrößen

repraesentative Regenreihen

Regenreihennummer	(-) :	RRNR 1	Mittel
Jahresniederschlagshoehe	(mm) :	725.0	725.00
Niederschlagshoehe (Bilanz)	(mm) :	572.6	572.55
Niederschlagsdauer (Bilanz)	(h) :	471.4	471.4

Absetz- und Reinigungswirkungen

Absetzklassen	(-) :	s	m	g	h
Absetzwirkung fuer AFS	(%) :	5.0	15.0	25.0	60.0

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

 * Zulauf- und Entlastungskenngrößen *

[illegible]

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

```

*****
* Maximalabfluesse in den Auslasskanaelen *
*****

```

Bauwerk		Anzahl	Qmax	Scheitel Datum	Qmax	Q>Qmax	Dmax	Dauer Datum	Dmax	D>Dmax	Vmax	Volumen Datum	Vmax	V>Vmax
Bez.	Typ													
B01	FGB	H 23	4.630	15- 6-1968	0.622	8	2.2	15- 6-1968	0.9	10	6.040	15- 6-1968	0.993	8
R02	RUE	I 7	3.255	15- 6-1968	0.684	1	0.6	15- 6-1968	0.3	3	3.777	15- 6-1968	0.702	1
B02	DLB	H 26	7.019	15- 6-1968	1.023	10	2.7	29- 8-1968	1.2	10	10.612	15- 6-1968	2.096	8

Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

 * Schmutzfrachten ausgewaehlter Stoffe *

Bauwerk				Zulauf				Entlastung				spez. Entlastung				
Name	Bez.			AFS	BSB5	CSB	TOC NH4-N PO4-P	AFS	BSB5	CSB	TOC NH4-N PO4-P	AFS	BSB5	CSB	TOC NH4-N PO4-P	
				SFz	10**	0	kg	SFe	10**	0	kg			SFe(ges)/Au(ges)	kg/ha	
FB Pflanzenlaender	B01	h		19	5908	11084	6513 592 243	4	408	1484	970 41 32	0	17	62	40 1.7 1.3	
RUE II Landgrafenstr.	R02			321	1958	21042	12186 1196 461	1	66	300	201 7 7	0	10	38	25 1.0 0.8	
RUEB I Schwedenpfad	B02	-		592	1732	38678	22183 2175 840	10	976	3632	2347 99 79	0	18	66	43 1.8 1.4	
Summe (Fracht)				642	1943	40184	23245 2199 874	16	1450	5416	3518 147 118	0	18	66	43 1.8 1.4	
Entnommene Frachten				0	0	0	0 0 0									
Klaieranlage (Regen)	KLA			4820	4933	47681	19726 2052 756	14813	4444	17776	5926 2963 889	181	54	218	73 36.3 10.9	
(Trock)								1448	9613	4695	38751	7958 8979 2694	549	165	659 22010	9.9 33.0

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert
Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Seite 5
SMUSI 6.1

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Schmutzkonzentrationen ausgewaehlter Stoffe *

Bauwerk		Z u l a u f							E n t l a s t u n g						
Name	Bez.	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P		AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	
		Cz	mg/l	(Minimum)					Ce	mg/l	(Maximum)				
		Cz	mg/l	(Mittel)					Cp	mg/l	(Mittel)				
FB Pflanzentaender	B01	h	0	13	58	38	1	1	0	63	110	64	6	2	1
RUE II Landgrafenstr.	R02		0	13	58	40	1	1	0	16	65	42	2	1	1
RUEB I Schwedenpfad	B02	-	0	13	61	40	1	1	0	38	85	54	4	2	1
Summe/Mittel															

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert
Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Seite 6
SMUSI 6.1

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* Wirkung der Mischwasserbehandlung *

Bauwerk		Entlastungsfracht ohne MB							Entlastungsfracht mit MB							Wirkungsgrad der MB						
Bez.	WMB-Typ	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P		AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P		AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	
		SFoMB	10**	-1	kg				SFmMB	10**	-1	kg										
B01		99	10387	34661	22381	1040	756		44	4077	14837	9696	408	324		55.2	60.7	57.2	56.7	60.8	57.1	
B02		217	23381	79936	51182	2381	1730		103	9764	36320	23475	994	786		52.4	58.2	54.6	54.1	58.3	54.6	
Summe/Mittel		317	337681	14596	73563	3421	2486		148	13841	51156	33171	1402	1110		53.3	59.0	55.4	54.9	59.0	55.4	

* Kenngrößen der Trenngebiete *

Bez.		Flaechen + Einwohner				Volumina		Frachten																
	K	I	Agas	VG	EW	mxQt	I	V-Netz	V-VorFl	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	I	AFS	BSB5	CSB	TOC	NH4-N	PO4-P	I
			ha	-	-	1/s		Tsd.cbm	Tsd.cbm		Fracht in Kanalnetz in 10**+1 kg						Fracht in Vorfluter in 10**+1 kg							
T07			6.6	0.40	269	1.0	I	2.099	10.462	I	0	5509	6274	3137	552	138	I	21	1269	5922	4230	127	137	I
Summen			6.6	0.40	269	1.0	I	2.099	10.462	I	0	5509	6274	3137	552	138	I	21	1269	5922	4230	127	137	I

39

Magistrat - Stadt Bad Homburg
SMUSI-Aktualisierung 2015
Prognose 2025, optimiert
Bilanzierungszeitraum : 1. 1.1968 0:00 - 31.12.1968 23:55

Seite 8
SMUSI 6.1

Niederschlagshoehe (mm) : 572.55
Niederschlagsdauer (h) : 471.42

* A128-Kenngrößen *

Bauwerk		Volumen + Abflüsse							CSB-Frachten + CSB-Konzentrationen							Mischungsverh	
Name	Bez.	Typ	V	Vmin	Qd	Qkrit	Qdmin		SFe	1.15*SFe	Ct	Cr	Cm	Ce		vorh	erf.
			cbm	cbm	l/s	l/s	l/s		kg/a	kg/a	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		-	-
FB Pflanzentaender	B01	FGB H	646	139	85		21		1484		339	60	101	65		47.19	7.00
RUE II Landgrafenstr.	R02	RUE			814	432	141		300		336	56	109	61		45.11	7.00
RUEB I Schwedenpfad	B02	DLB H	1398	335	270	971	65		3632		346	59	110	67		46.51	7.00
Summe			2044	474					5416	5416	346			66			

Abschlussarbeit von:

Frau Sabine Santhirasegaran

Erklärung zur Abschlussarbeit gemäß § 22, Abs. 7 APB

Hiermit versichere ich, die vorliegende Abschlussarbeit ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stelle, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher Form oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den _____

Unterschrift

